Attualità Scientifiche — N. 3.

AUGUSTO RIGHI

LA MODERNA TEORIA DEI FENOMENI FISICI

(RADIOATTIVITÀ, IONI, ELETTRONI)

Seconda Edizione

CON NUMEROSE AGGIUNTE

BOLOGNA
DITTA NICOLA ZANICHELLI
1904

AUGUSTO RIGHI

LA MODERNA TEORIA
DEI
FENOMENI FISICI
(RADIOATTIVITÀ, IONI, ELETTRONI)

Seconda Edizione

CON NUMEROSE AGGIUNTE

BOLOGNA
DITTA NICOLA ZANICHELLI
1904

PREFAZIONE
ALLA PRIMA EDIZIONE

Un nuovo capitolo da aggiungere ad un libro, del quale si sta preparando la ristampa, ha dato occasione, per desiderio dell' Editore Comm. Zanichelli, alla presente « Attualità ».

Quel capitolo doveva essere redatto in una forma elementare, e tal forma ho cercato, per quanto potevo, di conservare, mentre lo ampliavo trasformandolo nella nuova pubblicazione. Ciò nell' intento che questa potesse interessare il maggior numero possibile di Lettori. A quelli poi, che dei progressi della Fisica si occupano in modo speciale, riesciranno utili almeno le note bibliografiche raccolte in fine.

L' argomento trattato ora con molta generalità è quello medesimo, a cui si accennò di volo

nelle prime pagine della prima « Attualità », la quale però era principalmente dedicata all' esame di uno speciale gruppo di fenomeni: di questi naturalmente non si è fatto parola nell' odierna pubblicazione.

Bologna, gennaio 1904.

A. Righi.

PREFAZIONE
ALLA SECONDA EDIZIONE

Nel preparare la nuova edizione di questo libretto non mi sono limitato a modificare qua e là il testo, nell'intento di aumentare per quanto potevo la chiarezza dell'esposizione, ma vi ho introdotto diverse aggiunte rese necessarie da numerose pubblicazioni recenti attinenti al soggetto trattato e particolarmente alla radioattività, ed apparse in gran parte nel breve intervallo trascorso da che venne stampata la prima edizione.

Confido perciò che questo modesto lavoro di compilazione raggiunga sempre meglio lo scopo, pel quale venne da me intrapreso.

Bologna, marzo 1904.

A. Righi.

INDICE

INTRODUZIONE

Le innumerevoli ricerche sperimentali compiute in questi ultimi anni intorno alla scarica elettrica, i felici tentativi fatti per completare la teoria elettromagnetica della luce, e infine la scoperta di nuovi fenomeni magneto-ottici e quella della radioattività, hanno avuto come conseguenza la formazione d' un nuovo e interessantissimo ramo di scienza, e in pari tempo hanno fatto sorgere una teoria, che tutti quei fatti armonicamente collega, e per la quale le idee dominanti sulle cause immediate dei fenomeni elettrici, e in genere dei fenomeni fisici, si sono profondamente modificate.

Abbandonata l' antica ipotesi del fluido elettrico, specialmente in causa della ripugnanza ad

ammettere le azioni a distanza, sembrò per un momento che le idee di Faraday, concretate poi dal Maxwell, secondo le quali la sede dei fenomeni elettrici doveva supporsi nell'etere anzichè nei così detti corpi elettrizzati, dovessero condurre ad un nuovo concetto sulla causa dei fenomeni stessi; se non che l'impossibilità di trovare una rappresentazione meccanica soddisfacente delle supposte deformazioni elastiche dell'etere, a cui si attribuiscono nella teoria di Maxwell le apparenti forze a distanza, e la necessità di ammettere ad ogni modo l'esistenza di una entità distinta dall'etere e dalla materia, mostrarono ben tosto, che anche nel nuovo ordine di idee l'elettricità restava una incognita.

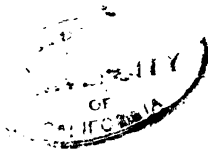
Oggi una nuova evoluzione si è compiuta, giacchè, senza tuttavia conoscere nulla di più in quanto alla causa prima, si attribuisce alla elettricità una struttura atomica. Questo nuovo concetto, suggerito dagli studi accennati più sopra, mostra già di riescire così fecondo quanto l'ana-

logo da lungo tempo ammesso rispetto alla costituzione della materia, in quanto che esso si presta a mettere in reciproca relazione, spesso anche quantitativamente, fenomeni, che sembravano disparatissimi e fra loro indipendenti.

Che cosa siano gli *elettroni* o atomi elettrici rimane un mistero; ma ad onta di ciò la nuova teoria potrà forse acquistare col tempo una non piccola importanza anche dal punto di vista filosofico, poichè essa indica un nuovo modo di considerare la struttura della materia ponderabile, e tende a ricondurre ad un' unica origine tutti i fenomeni del mondo fisico.

È bensì vero, che colle moderne tendenze positiviste ed utilitarie molti non apprezzano questo pregio, e preferiscono considerare una teoria sopratutto come un mezzo comodo per ordinare e coordinare i fatti, o come una guida nella ricerca di fenomeni nuovi. Ma se per l' addietro troppo si confidava nel potere dell' ingegno umano, e troppo facilmente si credeva d' essere prossimi a

scoprire la ragione suprema delle cose, oggi si cade forse nell' eccesso contrario.

In questo scritto saranno esposti i fatti principali, che hanno condotto alla teoria degli elettroni, e si cercherà di far conoscere questa teoria almeno nelle sue linee generali.

CAPITOLO I.

Ioni elettrolitici ed elettroni (*).

Per ispiegare il fenomeno dell' elettrolisi, in accordo colle leggi ben note di Faraday, alle quali quel fenomeno obbedisce, si ammette da tutti l' ipotesi della dissociazione elettrolitica. Ogni molecola di un elettrolita può scindersi in due *ioni*, cioè in due atomi o gruppi atomici aventi cariche elettriche uguali e di nome contrario; ed anzi quando un sale, come il cloruro di sodio o sale comune, viene sciolto nell' acqua, parte delle sue molecole subisce la dissociazione, e cioè queste molecole cessano di esistere come tali, ed i loro ioni restano disgiunti e liberi. In virtù di quei moti molecolari ed atomici invisibili, la

(*) I numeri fra parentesi inseriti nel testo servono a richiamare le citazioni raccolte in fondo al libro.

cui energia costituisce il calore contenuto in un corpo, quei ioni vagano nel liquido, senza però che nessuna direzione di moto sia preferita; nei reciproci incontri accade, ora che una molecola si scinda in ioni, ora che ioni distinti ricompongano delle molecole. Sono, per così dire, connubi e divorzi incessanti, ad onta dei quali il numero di molecole dissociate rimane nel tempo sensibilmente invariabile.

Quando due elettrodi comunicanti coi poli d'una pila siano immersi nella soluzione, i ioni delle due specie, e cioè i ioni positivi di sodio e quelli negativi di cloro (per proseguire nell'esempio scelto) non si muovono più indifferentemente nelle varie direzioni; ma, obbedendo alle forze elettriche, i primi vanno accostandosi all'elettrodo negativo o *catodo*, i secondi al positivo o *anodo*. Giungendo sugli elettrodi i ioni cedono ad essi le loro cariche e divengono atomi neutri, che restano liberi, a meno che (come accadrebbe appunto nel caso del sodio) non avvenga qualche azione chimica speciale fra questi atomi ed i corpi circostanti.

La corrente elettrica nel liquido consiste in questo trasporto di elettricità effettuato dai ioni.

L'elettrolisi obbedisce alle due leggi, che furono enunciate da Faraday. Si soddisfa alla prima di queste leggi, la quale asserisce la proporzionalità esistente fra la quantità di elettricità che attraversa il liquido e la quantità di materia depositata sugli elettrodi, ritenendo che tutti i ioni esistenti nel liquido posseggano cariche eguali in valore assoluto. Così, nel caso del cloruro di sodio, i ioni di questo metallo hanno cariche positive tutte eguali fra loro, ed eguali ma di contrario segno alla carica di uno qualunque dei ioni di cloro.

Si soddisfa alla seconda legge di Faraday, in virtù della quale, quando la stessa quantità di elettricità è trasmessa da differenti elettroliti (per esempio messi l'uno dopo l'altro in un unico circuito) le quantità di essi che rimangono decomposte sono proporzionali ai rispettivi equivalenti chimici, ammettendo, che tutti gli atomi monovalenti posseggano una carica uguale in valore assoluto a quelle dei ioni di sodio o

di cloro, che tutti gli atomi abbiano una carica doppia di queste quando si comportano come bivalenti, e così di seguito. Ecco un esempio per chiarire questo punto. Se si farà passare una corrente in una soluzione di quel cloruro di rame, la cui molecola contiene due atomi di rame (monovalente) e due di cloro, come pure nella soluzione dell' altro cloruro, la cui molecola contiene un atomo (bivalente) di rame e due di cloro, si raccoglierà, sul catodo della prima soluzione, doppia quantità di rame che sul catodo della seconda, mentre naturalmente la quantità di elettricità positiva trasportata attraverso i due liquidi sarà la stessa.

Sino dal 1881 l'illustre Helmholtz fece notare, come dalle leggi della elettrolisi venga suggerita l' idea, che la carica elettrica spettante ad ogni valenza d' un ione sia una quantità fissa avente una esistenza a parte; e, come un atomo materiale è una porzione fissa e determinata d' una certa qualità di materia, ed è considerato come indivisibile, così è naturale considerare come fissa e indivisibile quella carica elettrica, tanto

più che mai si riscontra una quantità di elettricità più piccola. La carica del ione (monovalente) può dirsi dunque *atomo* di elettricità, o meglio, secondo la denominazione proposta dal Sig. Stoney, *elettrone* (*ione elettrico*).

Veramente, il concetto d'una struttura atomica dell'elettricità era stato emesso già dal Weber nel 1871, cioè assai prima che da Helmholtz. Quell'insigne fisico e matematico propose, come è noto, una teoria, secondo la quale i fenomeni elettrici sarebbero dovuti a particelle o atomi di elettricità positiva e di elettricità negativa agenti fra loro a distanza con forze dipendenti, non solo dalla distanza stessa, ma anche dalle velocità delle particelle e dalle loro accelerazioni, ossia dal modo nel quale variano queste velocità. Naturalmente quella teoria, nella quale si ammettevano ancora le azioni a distanza, non ha di comune con quella oggi in favore che il concetto fondamentale dell'atomo elettrico; e quantunque il Weber, cercando nella sua teoria la ragione delle forze che presiedono alla struttura atomica dei corpi, emettesse l'ipo-

tesi « che ad ogni atomo ponderabile sia unito un atomo elettrico » (1), la relazione oggi ammessa tra ioni ed elettroni sembra sia stata meglio intravvista da Helmholtz.

Non si creda che l'ipotesi atomistica dell'elettricità imponga di considerarla come una materia, giacchè si è sempre liberi di supporre, che un elettrone sia semplicemente una condizione speciale localizzata dell'etere universale. Si può anzi fin d'ora aggiungere che, piuttosto di considerare l'elettricità come materia, si è oggi condotti ad un'ipotesi diametralmente opposta, cioè a supporre che gli atomi dei vari corpi siano sistemi di elettroni.

Allorchè i ioni giungendo sugli elettrodi divengono atomi neutri, gli elettroni entrano in circuito a costituire la corrente elettrica. Ora sembra naturale supporre, che questi elettroni, anzichè fondersi, per così dire, in un tutto omogeneo (per esempio l'antico fluido elettrico), conservino la loro individualità, tanto più che, se debbono passare da un atomo ad un altro, è verosimile debbano momentaneamente esistere

isolati; ed allora la corrente elettrica nei conduttori altro non sarà che un movimento di elettroni liberi attraverso gli spazi interatomici. Rimarrà indeterminato, se la corrente consista nel moto di elettroni positivi in un senso e di negativi in senso contrario, oppure nel moto in un determinato senso d' una delle due specie di elettroni, per esempio i negativi; ma si dà la preferenza a quest' ultima opinione, perchè, mentre si ha ragione di ritenere che gli elettroni negativi possano esistere liberi, altrettanto non è per quelli positivi. I primi soli, a quanto pare, si spostano, si separano dalla materia ponderabile o vi si uniscono, e vibrano nelle sorgenti luminose, come si vedrà fra poco. Perciò, mentre un ione negativo depositandosi sull' anodo cede a questo l' elettrone, un ione positivo giungendo sul catodo non cede a questo un elettrone positivo, ma ne prende uno negativo al catodo stesso.

Ecco dunque che in certo modo l' antica teoria del fluido elettrico è richiamata in vita, quantunque profondamente modificata. Non si tratta più infatti del fluido continuo, ma di

atomi speciali (gli elettroni), i quali del resto, come si è già osservato, non sono necessariamente da considerarsi come materiali nel senso ordinario della parola.

Inoltre, e ciò importa assai più, non si attribuisce agli atomi di elettricità quella misteriosa facoltà di agire a distanza, di cui si supponeva dotato l' antico fluido, ma invece si ammette, che le forze reciproche fra gli elettroni abbiano la loro causa in deformazioni elastiche speciali dell' etere, identiche a quelle invocate dalla teoria di Maxwell per rendere conto delle forze elettriche fra conduttori.

Per ispiegare i fenomeni dell' elettrolisi basta a rigore ammettere, come si è fatto sempre, l' ipotesi della dissociazione elettrolitica; ma questa ipotesi non si presta bene a render ragione della propagazione dell' elettricità nei gas e di vari altri fenomeni. Invece, coll' ammettere la *dissociazione elettrica*, cioè la separazione degli elettroni negativi dagli atomi neutri, si dà ragione tanto dell' elettrolisi quanto degli altri fenomeni.

Perchè da un atomo neutro possa separarsi

un elettrone negativo, occorre spendere energia nel vincere l'attrazione, in virtù della quale l'elettrone è trattenuto dal ione positivo, che è ciò che rimane dell'atomo quando gli si è tolto l'elettrone negativo, precisamente come occorre fornire energia calorifica per allontanare l'una dall'altra le molecole di un liquido che si fa evaporare, o come bisogna spendere un lavoro meccanico per sollevare un peso da terra.

L'energia necessaria a *ionizzare* o *dissociare* un atomo è naturalmente diversa a seconda della natura chimica di esso. L'esperienza indica, che tale energia è minima per i corpi così detti elettropositivi, quali i metalli, e gradatamente maggiore procedendo verso i più elettronegativi, i quali inoltre possono anzi assimilarsi nuovi elettroni negativi; e che essa dipende anche dalla natura e dalle condizioni degli atomi circostanti a quello che deve scindersi in elettrone e ione positivo. Così è estremamente piccola per i corpi in soluzione acquosa.

Ciò posto, la dissociazione elettrolitica, cioè la separazione di una molecola in due ioni, per

esempio quella del cloruro sodico in un ione positivo di sodio ed uno negativo di cloro, deve considerarsi come conseguenza della dissociazione dell' atomo metallico.

Questo si scinde in un ione positivo di sodio ed un elettrone negativo, il quale, trattenuto dall' atomo di cloro, trasforma quest' ultimo in ione negativo. Adottato questo modo di considerare la dissociazione elettrolitica, questa, con tutte le sue importantissime conseguenze, rientra nella teoria più generale degli elettroni.

CAPITOLO II.

Gli elettroni ed i fenomeni luminosi.

Mentre l' ipotesi degli elettroni scaturisce in modo così naturale dai fenomeni elettrolitici, è in tutt' altro campo della Fisica, e precisamente in quello dell' Ottica, che essa trovò una inaspettata e brillante conferma.

Che la luce sia un fenomeno vibratorio, e non possa assolutamente più considerarsi dovuta, come voleva Newton, all' emissione di speciali corpuscoli dai corpi luminosi, è cosa ormai da tutti conosciuta, ed in favore della quale parlano molte, belle e classiche esperienze, alle quali sono legati i nomi di Young, di Fresnel e di Foucault. E quando si parla di luce necessariamente si parla in pari tempo di radiazione calorifica, non potendo sussistere, dopo le cele-

bri ricerche di Macedonio Melloni, nessun dubbio intorno all' identità di natura di quei fenomeni apparentemente così diversi.

Ma la teoria ondulatoria richiede un mezzo capace di propagare le onde; di qui la necessità d'ammettere l'esistenza dell'etere, cioè d'una sostanza sparsa ovunque, negli spazi interplanetari ed interstellari, come negli spazi interatomici. L'ipotesi dell'etere s'impone in modo irresistibile, e sembra quasi acquistare il carattere di realtà e di certezza, quando si considera la perfezione con cui l'ipotesi ondulatoria rende conto, anche quantitativamente e nei più minuti dettagli, di tutti i fenomeni ottici.

Sull' esempio di Fresnel si considerarono per molto tempo le vibrazioni luminose come vere e proprie vibrazioni meccaniche delle particelle eteree e materiali; ma più tardi si riconobbe, specialmente per opera di Maxwell, che si potevano considerare le onde luminose come onde elettromagnetiche, con che si collegavano due classi distinte di fenomeni fisici. La teoria elettromagnetica della luce ricevette in questi ultimi

anni un solido oppoggio dalle note esperienze di Hertz e da quelle successive di altri fisici; ed oggi non v' ha forse chi si rifiuti ad ammettere, che i fenomeni della luce siano in realtà fenomeni elettromagnetici, e che le onde luminose differiscano da quelle, che Hertz ha insegnato a produrre, soltanto per certi valori numerici.

Però la teoria elettromagnetica della luce, quale si ricava dalla proprietà del campo elettromagnetico, non vale a dar ragione di quei fenomeni, per render conto dei quali si dovette ricorrere anche nella teoria meccanica ad un' azione della materia ponderabile sull' etere. A completare la teoria oggi accettata era dunque necessario far intervenire in qualche modo gli atomi materiali; ed il fisico olandese Lorentz ebbe la felice idea di considerare insieme agli atomi le loro cariche elettriche. Se di queste o solo quelle negative o solo quelle positive prendono parte alle vibrazioni luminose, e si tiene conto delle forze elettriche e magnetiche generate dai loro movimenti, si arriva ad una teoria elettromagnetica della luce atta a spiegare anche quei fenomeni, che sfuggi-

vano alla teoria basata semplicemente sulle formule di Maxwell o di Hertz.

Prenderemo qui in considerazione un fenomeno interessantissimo scoperto dal sig. Zeeman, già allievo del Lorentz, perchè è uno di quelli da cui risulta dimostrata la relativa indipendenza degli elettroni negativi e la loro caratteristica libertà di movimento.

È noto che un gas luminoso emette radiazioni di determinati periodi vibratori, e non quelle corrispondenti a periodi intermedi che si seguano con continuità; di guisa che lo spettro della luce emessa dal gas si riduce ed un limitato numero di righe sottili, immagini della fenditura attraverso la quale si fa passare la luce per analizzarla col prisma.

Per esempio, lo spettro della luce emessa dal sodio allo stato gassoso è formato da due righe gialle vicinissime, che cogli spettroscopi poco potenti appaiono confuse in una sola. Ora Zeeman dimostrò che, se il gas è posto in un intenso campo magnetico, per esempio fra i due poli di una potente elettrocalamita, ogni semplice riga

del suo spettro è sostituita generalmente da un gruppo di righe nuove.

Due casi principali sono qui da considerarsi, e cioè: 1.° quello in cui il raggio luminoso che si considera sia parallelo alle linee in forza magnetica; 2.° quello in cui il detto raggio sia perpendicolare a queste linee. Il caso generale è naturalmente un poco complicato, e per esso rimando il lettore a lavori speciali (2).

Supponiamo che fra due opposti poli magnetici si trovi un gas luminoso, per esempio il vapore di cadmio, quale si può ottenere facendo scoccare delle scintille elettriche fra due fili di quel metallo. Se si esamina la luce, che si propaga nel senso delle linee di forza (1.° caso), ossia da un polo verso l'altro, si constata facilmente, che, mentre la riga verde dello spettro del cadmio appare nitidissima e semplice come in *A* (fig. 1) quando non esiste il campo magnetico, non appena questo è creato la riga *A* sparisce, e invece di essa ne appaiono due nuove *B*, *C*, una da una parte e una dall'altra della posizione *A'*, che l'unica riga prima occupava, e ad uguali distanze.

Se si studia collo spettroscopio un raggio di luce in direzione equatoriale (2.° caso) e cioè

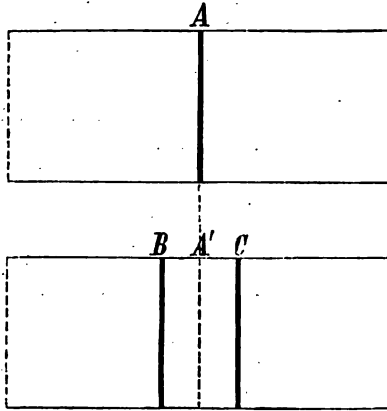



Fig. 1.

perpendicolare alla direzione del campo magnetico, l'unica riga *A* (fig. 2) è sostituita da tre

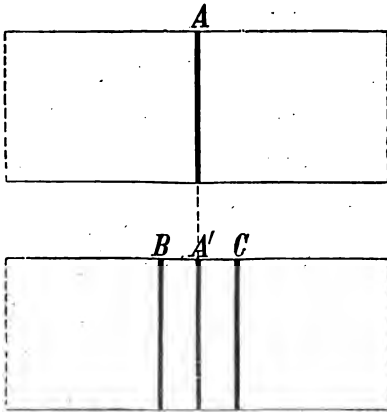



Fig. 2.

righe C, A', B, di cui quella di mezzo, equidistante dalle altre due, occupa il posto della riga primitiva.

Per altre righe spettrali o si hanno fenomeni identici a questi che presenta la riga verde del cadmio, oppure effetti un poco più complicati. Così, per esempio, delle due righe del sodio una, quella che si suol chiamare D_1, si trasforma nel 2.° caso in quattro righe A, B, C, D, (fig. 3),

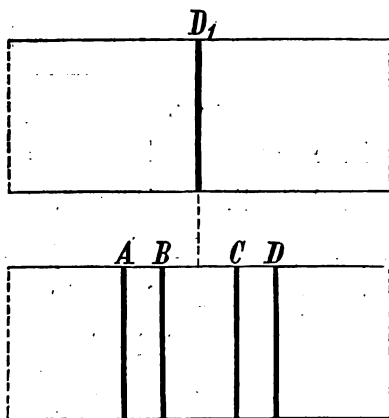



Fig. 3.

mentre la D_2 si muta in un gruppo di sei righe (fig. 4) A, B, C, D, E, F.

La teoria del Lorentz spiega completamente questi fenomeni, almeno nei casi meno compli-

cati; ma basterà qui prendere in considerazione un caso soltanto, quello, al quale si riferisce la

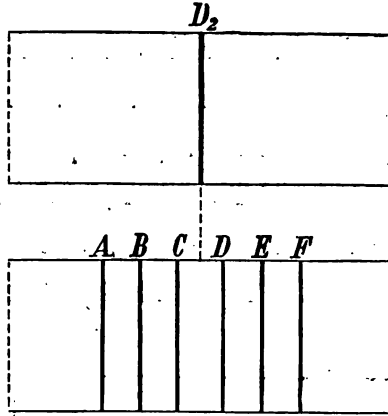



Fig. 4.

fig. 1, della luce emessa dal vapore di cadmio nella direzione delle linee di forza.

Si abbia una particella elettrizzata che, attratta verso una posizione d'equilibrio O (fig. 5), vibri circolarmente attorno a questa, descrivendo una circonferenza di raggio $O\ A$. La particella elettrizzata vibrante genera delle onde luminose. Supporremo di

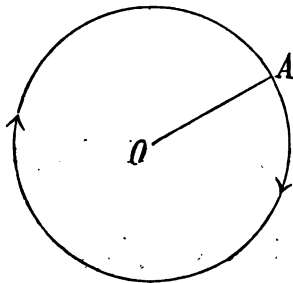



Fig. 5.

studiare la luce che si propaga nella direzione perpendicolare al piano della circonferenza. Se in questa stessa direzione agisce una forza magnetica, esiste ad ogni istante una forza elettromagnetica, analoga a quella che agirebbe sopra un breve tratto di corrente elettrica diretta come la velocità della particella. Questa forza sarà dunque diretta secondo il raggio *OA* passante per la particella mobile, ed agirà, a seconda dei casi, o da *A* verso *O* o in verso contrario. L'effetto di questa nuova forza, che si aggiunge o si sottrae a quella che mantiene la particella nella sua orbita, è quello di variare il suo periodo vibratorio, cioè il tempo impiegato dalla particella a descrivere la circonferenza, precisamente come un cambiamento nell'intensità della forza di gravità ha per effetto una variazione nel periodo di oscillazione di un pendolo.

Dall'effetto prodotto dal campo magnetico sopra una vibrazione circolare si passa facilmente a quello sopra una vibrazione qualunque. Ecco come.

Le vibrazioni luminose sono perfettamente

conosciute. Esse seguono le stesse leggi delle piccole oscillazioni di un pendolo, ed in generale sono elittiche; in casi particolari possono essere rettilinee o circolari, sempre però trasversali, cioè giacenti in un piano perpendicolare al raggio luminoso. Ora si può dimostrare questa equivalenza cinematica, e cioè che ogni vibrazione elittica si può considerare come risultante di due vibrazioni circolari di sensi opposti di girazione, e cioè l' una destrogira (moto nel medesimo senso di quello degli indici di un orologio), l' altra levogira; e si potrebbe aggiungere, che quella delle due vibrazioni circolari che ha egual senso di girazione dell' elisse *E F* (fig. 6), e cioè *A B*, ha un diametro eguale alla semisomma degli assi dell' elisse, mentre l' altra vibrazione circolare *C D* ha un diametro eguale alla semidifferenza degli assi me-

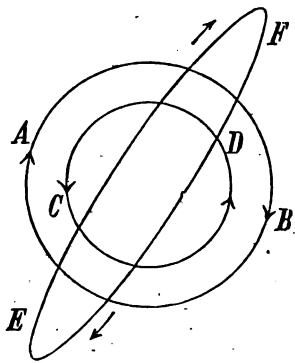



Fig. 6.

desimi (*). Se poi non si ama ricorrere a dimostrazioni matematiche, si può persuadersene adoperando uno speciale apparecchio, il quale, oltre che servire ad altri usi, vale ad affettuare la composizione di due oscillazioni pendolari di forma circolare (3).

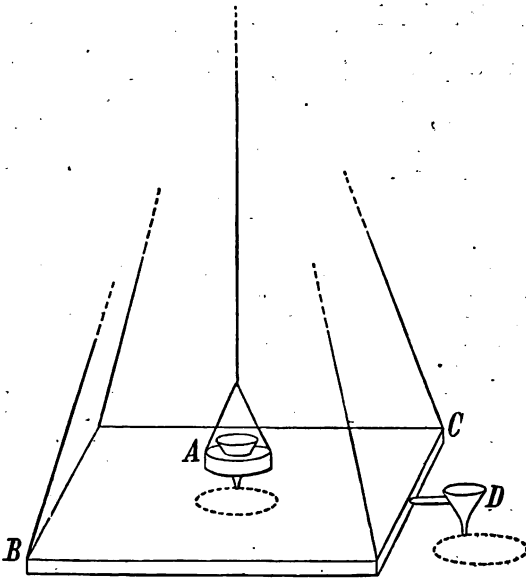



Fig. 7.

Due pendoli (fig. 7) sono sospesi a due punti fissi (per semplicità non rappresentati nella fi-

(*) Coi simboli usuali la vibrazione elittica, riferita ai suoi assi, può rappresentarsi mediante le sue componenti

gura) posti sopra una medesima verticale. Uno dei pendoli è costituito da un semplice filo metallico portante in basso un anello pesante ed un imbuto A pieno di sabbia; la parte inferiore dell' altro è una tavoletta $B\ C$, situata al disotto di A, che porta lateralmente un secondo imbuto D con sabbia. La lunghezza del primo pendolo può variarsi a piacere; ma, per l' esperienza di cui qui si tratta, deve esser tale, che i due pendoli abbiano egual periodo di oscillazione. Un congegno elettrico facile ad immaginare permette poi di chiudere o aprire a piacere i fori degli imbuti, ed arrestare così o permettere l' efflusso della sabbia.

Lasciando dapprima immobile il pendolo $B\ C$ si dia ad A un moto circolare; e si riconoscerà

---

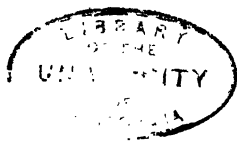
rettilinee $x = a \operatorname{sen} \theta$, $y = b \cos \theta$. Essa equivale evidentemente alla risultante di due vibrazioni circolari, una destrogira come l' elisse data e di componenti $x = \frac{a+b}{2} \operatorname{sen} \theta$, $y = \frac{a+b}{2} \cos \theta$, e l' altra levogira, e di componenti $x = \frac{a-b}{2} \operatorname{sen} \theta$, $y = -\frac{a-b}{2} \cos \theta$.

se sia tale, dalla traccia che la sabbia lascia sulla tavoletta *B C*. S' imprima allora un moto d' oscillazione circolare anche al pendolo *B C*, con direzione opposta a quella dell' altro pendolo; e si riconoscerà se vi si riesce, osservando la traccia di sabbia formata dall' imbuto *D* sopra un piano sottostante. Se, ora che i due pendoli oscillano, si fa effluire la sabbia dall' imbuto *A*, si forma sulla tavoletta *A B* un traccia elittica, la quale diventa una retta, se le due vibrazioni circolari componenti hanno diametro eguale. E così si resta persuasi del fatto enunciato, ed anzi si impara di più, che quando le due vibrazioni componenti circolari di girazione inversa hanno uguale ampiezza, la vibrazione risultante è rettilinea.

Tornando ora alla particella vibrante nel campo magnetico, essa in generale compirà una vibrazione elittica, e a questa potremo supporre sostituite le due vibrazioni circolari a cui equivale. Ma queste sono di girazioni opposte; se una è accelerata dal campo magnetico, l' altra è ritardata. Ed una volta che i loro periodi non

sono più uguali, non possono più dare nello spettro un' unica riga, ma due nuove righe poste una per parte dall' unica riga primitiva. Questa spiegazione, fornita dalla teoria di Lorentz per l' esperienza di Zeeman, venne da questo abile sperimentatore dimostrata esatta per mezzo di nuove esperienze, le quali provarono, che le due nuove righe erano effettivamente dovute a vibrazioni circolari, una destrogira e l' altra levogira.

Opportune esperienze qualitative e quantitative permisero in seguito di ricavare dal fenomeno di Zeeman due risultati interessantissimi.

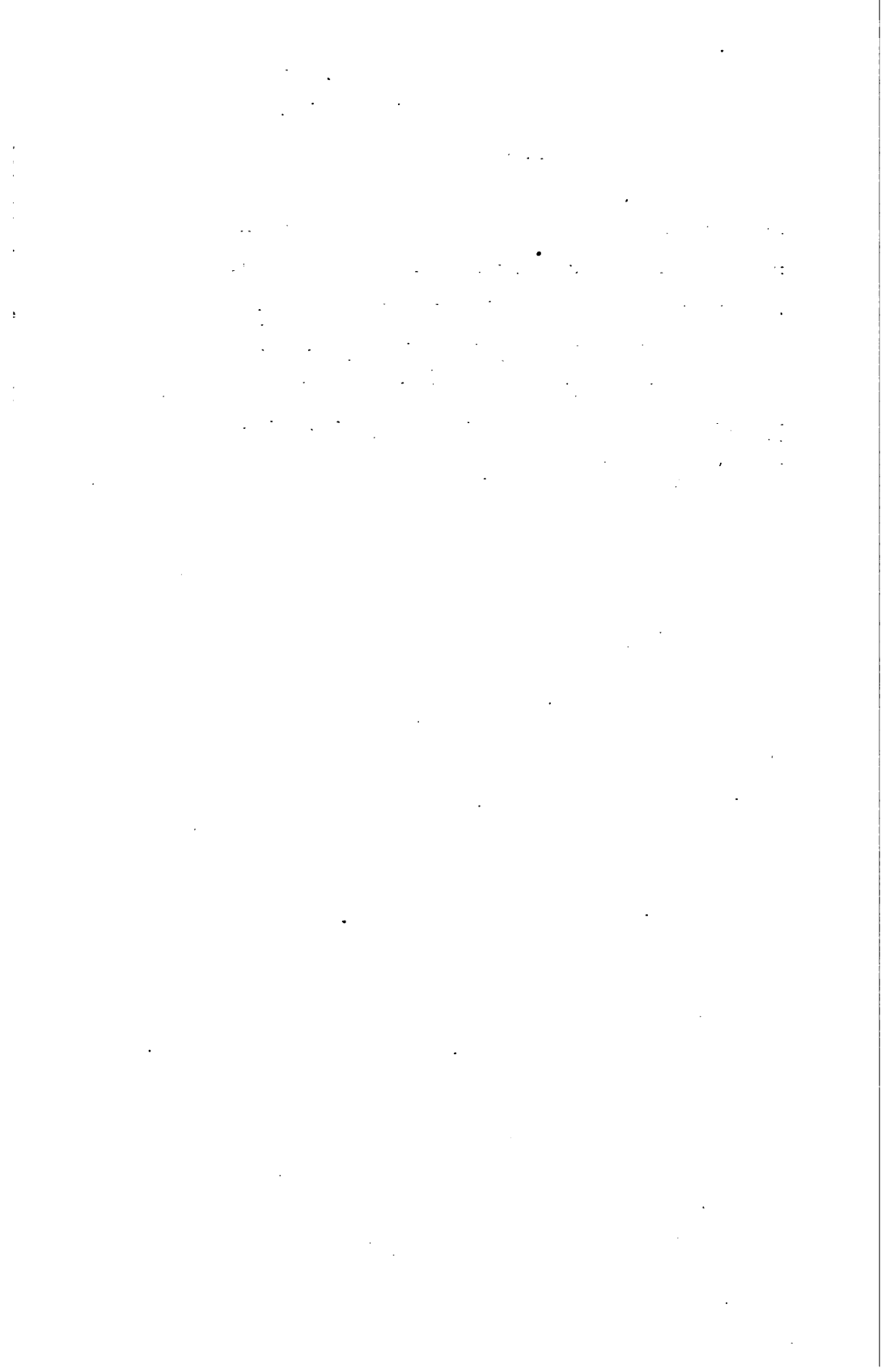
Esaminando quale delle due nuove righe era data, per una determinata direzione del campo magnetico, da vibrazioni destrogire e quale da levogire, si potè determinare il segno della carica delle particelle vibranti, e si riconobbe che, per mettere d' accordo i fatti osservati colla loro spiegazione, era necessario ammettere, che quelle particelle avessero carica negativa e non positiva.

In secondo luogo si potè ottenere una valutazione approssimata del rapporto fra la carica elettrica della particella vibrante e la sua massa materiale. Il risultato al quale si giunse fu, che tale rapporto è più che mille volte maggiore di quello relativo agli atomi dell' idrogeno nell' elettrolisi, e quindi a maggior ragione più grande di quello spettante agli atomi delle altre sostanze.

Questo risultato può essere interpretato in più maniere, fra cui queste due principali. O le particelle vibranti sono ioni, ed in tal caso la loro carica non è più la solita che spetta ad ogni valenza nell' elettrolisi, ma è invece una carica mille e più volte maggiore; oppure le particelle vibranti hanno una carica eguale a quella dei ioni elettrolitici, ed allora la loro massa è mille e più volte minore della massa d' un ione d' idrogeno. La seconda interpretazione è naturalmente quella accettata, e si considerano le particelle vibranti come elettroni liberi. Questi posseggono dunque (oppure ad essi è unita) una piccola massa materiale; ma vedremo che probabilmente tale massa ha una causa elettromagnetica. In

ogni modo questo risultato è corroborato da quelli cui si perviene per altre vie, come si dirà più avanti.

La teoria di Lorentz riceve dunque dalle esperienze di Zeeman una splendida conferma, e si può quindi ritenere, che la struttura degli atomi materiali sia tale da permettere agli elettroni negativi, che ne fan parte, di vibrare liberamente, mentre la parte positiva resta relativamente immobile. Perciò ci figuriamo un atomo neutro come costituito da una porzione, che nel suo complesso ha carica positiva, e da uno o più elettroni negativi, che si muovono intorno a quella come i satelliti intorno ad un pianeta, trattenuti nelle orbite loro dalla forza elettrica.

Sono assai noti oggi i così detti oscillatori, cioè gli apparecchi che si adoperano per generare le onde elettromagnetiche. Una delle forme possibili, se non praticamente vantaggiose, è quella di un corpo elettrizzato dotato di un movimento vibratorio, per esempio mosso da un corpo sonoro in vibrazione. Ebbene, basta immaginare sostituito al corpo elettrizzato un sem-

plice elettrone, e supporre estremamente breve il periodo vibratorio (ed anzi rappresentato da una frazione di minuto secondo che abbia per numeratore l' unità e per denominatore un numero di quindici cifre), perchè, invece di avere le onde elettromagnetiche di Hertz, si abbiano le ordinarie onde luminose.

CAPITOLO III.

Natura dei raggi catodici (4).

I fenomeni, dei quali si darà ora un cenno, mostrano gli elettroni negativi mentre sono animati da rapidissimi moti di traslazione, anzichè da moti di vibrazione come nel precedente Capitolo. Essi si presentano quindi sotto favorevoli condizioni affinchè si possano studiare più intimamente, per esempio modificandone in vario modo il movimento, con che si darà origine ad effetti nuovi ed interessanti. Ma per la chiarezza di quanto devesi esporre in questo capitolo giova richiamare dapprima i principali caratteri offerti dalle scariche elettriche nei gas rarefatti.

Si abbia un tubo di vetro *A C* (fig. 8), attraverso le pareti del quale e alle sue estremità siano saldati due fili di platino portanti due

elettrodi di alluminio *a*, *c*. Se la pressione dell' aria entro il tubo è inferiore a quella dell' atmo-

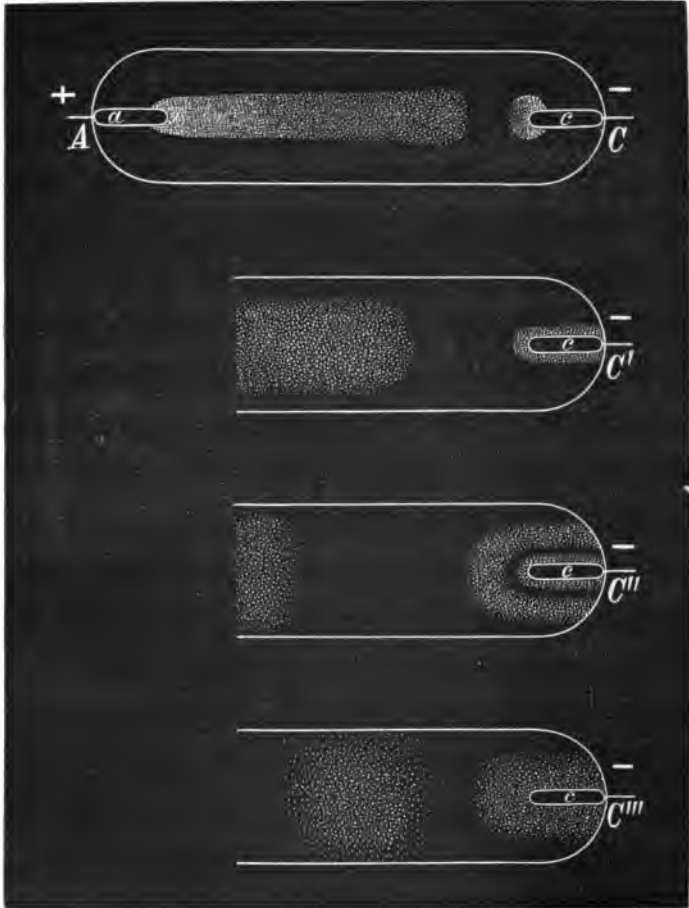



Fig. 8.

sfera, ma non tanto piccola, per esempio otto o

dieci millimetri di mercurio, e si fa passare la scarica elettrica da un elettrodo all' altro, invece della ben nota scintilla brillante e rumorosa, che si forma all' aria libera, si ottiene un fenomeno luminoso caratteristico, nel quale si distinguono due parti: la colonna luminosa positiva, specie di scintilla rosea troncata e a contorni diffusi, che va dall' anodo sino a qualche distanza dal catodo, e la luce negativa o *bagliore*, di color violaceo e attigua a quest' ultimo elettrodo. Fra queste due luminosità resta un intervallo detto *spazio oscuro di Faraday*.

Se ora si diminuisce la pressione dell' aria, quelle apparenze luminose cambiano. Senza occuparci della colonna positiva, la quale col crescere della rarefazione va perdendo via via in estensione e in intensità luminosa, spesso suddividendosi in parti distinte separate da intervalli relativamente oscuri (scarica stratificata), occupiamoci della luce negativa. Dapprima essa si estende sull' intero catodo (come in *C'*), se prima non ne occupava che l' estremità; ma poi, con ulteriore rarefazione, essa si estende tutt' intorno

sino a distanza di più in più grande, staccandosi in pari tempo dall'elettrodo come in C''. In contatto di questo si è intanto formato un nuovo strato luminoso, per cui la luce negativa è ora divisa in due parti, e cioè il *primo strato negativo*, aderente al catodo, ed il *secondo strato negativo* o bagliore, separati da un intervallo relativamente oscuro, che, per distinguerlo dallo spazio oscuro di Faraday, dicesi *spazio oscuro del catodo*. Spingendo anche più oltre la rarefazione, i due strati luminosi negativi si estendono di più, diventando meno luminosi e a contorni meno netti (C''' fig. 8). Anche l'intervallo che li separa diviene più ampio; e, quando si raggiunge la massima rarefazione, e cioè si riduce la pressione dell'aria ad essere minore di un millesimo di millimetro di mercurio, ogni luminosità del gas sparisce quasi completamente.

Ma prima che si arrivi a questo punto un nuovo fenomeno si produce. Le pareti del tubo intorno e poi di fronte al catodo divengono luminose, spandendo una viva luce, generalmente verde, dovuta ad una specie di fosforescenza, o

meglio forse di *fluorescenza*, dandosi questo nome a quell' emissione di luce presentata da alcuni corpi, come lo spato fluore, la quale non dura apprezzabilmente, dopo che sia cessata la causa produttrice di essa. La causa di questo fenomeno risiede nel catodo, giacchè, se fra questo e la parete si trova un ostacolo, sorge sulla parete una nettissima ombra, come se la fluorescenza fosse eccitata da raggi invisibili partenti dal catodo. È di questi raggi, ai quali si è dato il nome di *raggi catodici*, che dovremo ora occuparci.

Essi si propagano in linea retta e partono dal catodo in direzione perpendicolare alla sua superficie; per cui, se esso ha la forma di uno specchio concavo, i raggi catodici concorrono sensibilmente nel centro di curvatura. Così concentrati meglio dimostrano le loro singolari proprietà, che in modo tanto brillante e suggestivo vennero messe in evidenza da W. Crookes con apparecchi ingegnosamente combinati.

Le principali proprietà dei raggi catodici sono le seguenti. Essi eccitano, come si è visto, la

fosforescenza, e non solo del vetro, ma di molti corpi, fra cui quelli nei quali la fosforescenza è eccitata anche dalla luce. I raggi catodici riscaldano i corpi da essi colpiti e tendono a spostarli, come se meccanicamente li urtassero. Può darsi però che quest' azione meccanica sia almeno in massima parte una semplice conseguenza dell' effetto precedente. Infine i corpi colpiti dai raggi catodici divengono sorgente di nuovi raggi, i famosi raggi X, scoperti dal prof. Röntgen.

Per render ragione di tutti questi fenomeni il Crookes emise la sua ipotesi della materia radiante.

Già fin dal 1816 il celebre Faraday (5) aveva accennato alla possibilità d' un quarto stato della materia, come conseguenza di un ipotetico cambiamento « che oltrepassi l' evaporazione di tanto, di quanto questa oltrepassa la fluidità » ; e meglio ancora chiariva il suo pensiero dicendo, che « augurava colla più viva impazienza la scoperta di un nuovo stato degli elementi chimici ». Soggiungeva poi, e questo ha uno speciale interesse rispetto alla teoria che ci occupa, che

« la scomposizione dei metalli, la loro ricomposizione, la realizzazione dell' idea altra volta assurda della trasmutazione » erano i problemi, che la chimica doveva risolvere.

Quando la scarica ha luogo in un gas molto rarefatto, delle particelle materiali minutissime ed elettrizzate negativamente partirebbero, secondo Crookes, dal catodo, perchè da esso violentemente respinte, e queste particelle, formanti un quarto stato della materia successivo allo stato gassoso, produrrebbero col loro urto gli effetti constatati, e costituirebbero colle loro traiettorie i raggi catodici. Si suppose di poi che quelle particelle fossero gli stessi atomi del gas residuo, il quale, stante l' estrema sua rarefazione, presenta quelle nuove proprietà, che il noto radiometro di Crookes mette in evidenza colla rotazione del suo piccolo molinello.

Ma alcuni, fra cui l' illustre Hertz, preferirono considerare i raggi catodici come un fenomeno ondulatorio simile alla luce, ed avente origine nella superficie del catodo e sede nell' etere. Peraltro tale opinione dovette ben presto

cedere di fronte ai risultati delle esperienze posteriori.

Così, mentre varî fisici, fra i quali il Sig. J. J. Thomson (6), al quale tanto si deve dell'odierna teoria degli elettroni, e fra noi il Dott. Maiorana (7), riconoscevano, che la velocità dei raggi catodici è notevolmente minore di quella della luce, il Sig. Perrin (8) metteva in evidenza il trasporto di elettricità negativa da essi effettuato, e che può constatarsi anche quando i raggi catodici abbiano già attraversata una sottile lamina metallica, come fu dimostrato più tardi dal sig. Lenard (9).

L'esperienza del Perrin si può fare con un tubo di scarica come quello della figura 9. Il

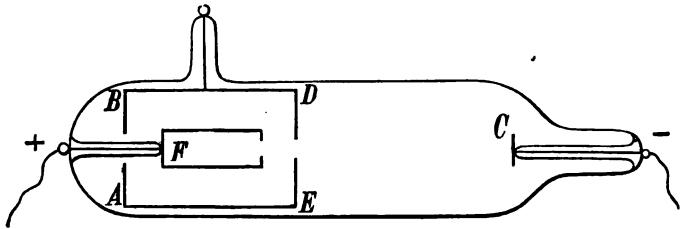



Fig. 9.

catodo *C* è un dischetto di alluminio, e l'anodo *A B D E* ha la forma di una scatola cilindrica

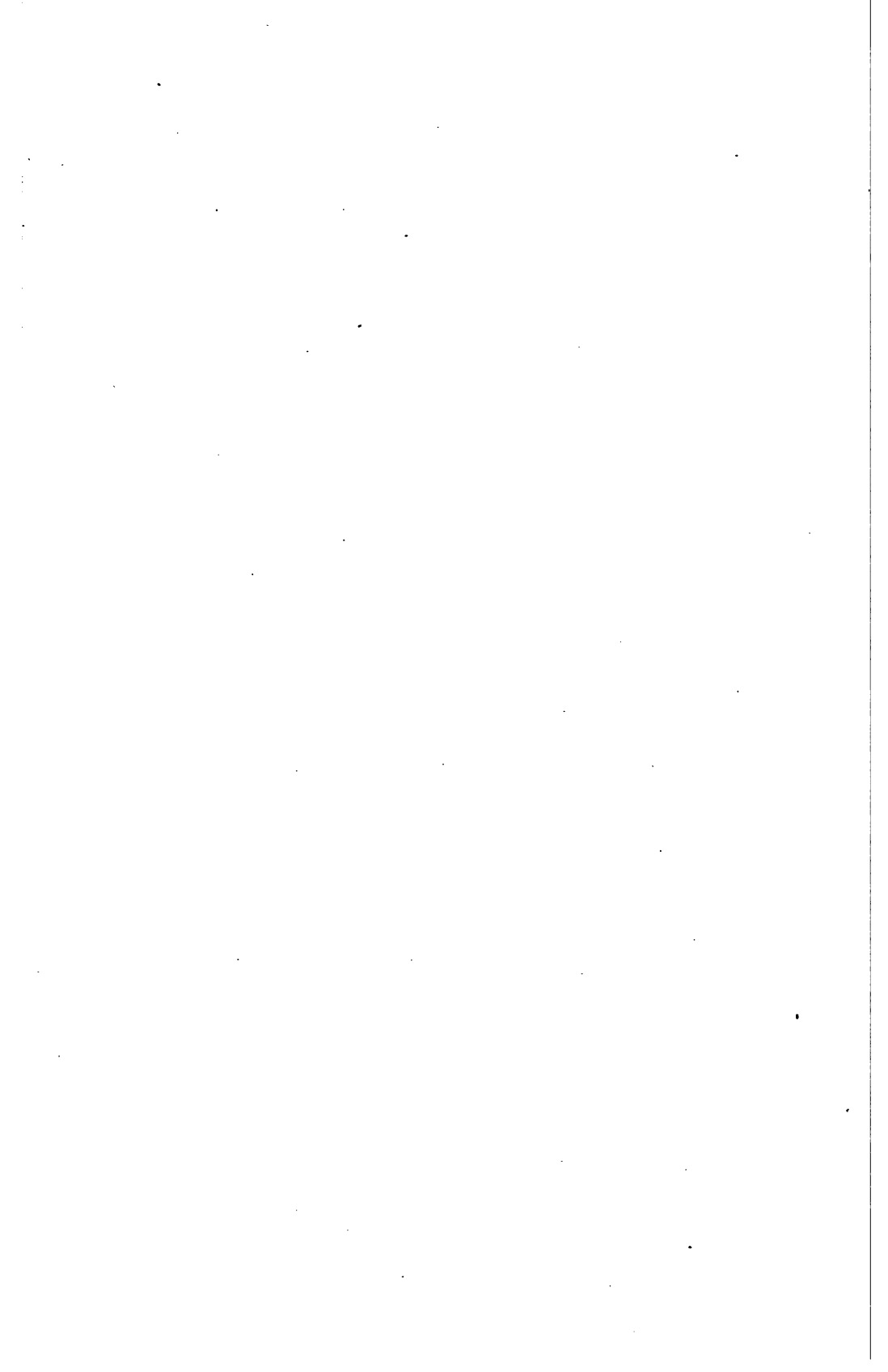
con aperture circolari nel centro delle basi. Esso comunica col suolo, e nel suo interno contiene un conduttore *F*, che si mette in comunicazione con un elettroscopio. Il conduttore *F* suole avere la forma di un cilindro cavo, con un' apertura rivolta verso quella della base *D E* dell' anodo. Quando le scariche passano nel tubo, si raccoglie nel conduttore *F* una carica negativa, la quale evidentemente non può essere dovuta ad altro che ad un trasporto effettuato dai raggi catodici. Del resto basta avvicinare una calamita, la quale, come si vedrà, rende curvilinei i raggi catodici, onde essi più non entrino nel cilindro *A D*, ma rendano luminosa una regione eccentrica della base *D E*, che a questo scopo è ricoperta d' un corpo fosforescente. Orbene, non appena i raggi catodici cessano di colpire il conduttore *F*, questo cessa di ricevere elettricità.

Com' è naturale, la constatazione di questi fatti portò validissimo appoggio alla teoria del Crookes. Infine innumerevoli esperienze recenti di molti fisici indussero a modificare alcùn poco e meglio determinare la primitiva ipotesi, e ad

ammettere, che le particelle, le quali col loro moto rapido costituiscono i raggi catodici, altro non siano che gli stessi elettroni negativi. Questa opinione, ora adottata da tutti, riposa principalmente sui fatti seguenti con accuratezza constatati, e dei quali dovremo intrattenerci dettagliatamente più oltre. In primo luogo, i raggi catodici hanno sempre identiche proprietà, qualunque sia il gas estremamente rarefatto nel quale si formano, e qualunque sia la natura del catodo; in secondo luogo le particelle negative in moto posseggono quella stessa piccolissima massa mille e più volte minore di quella di un atomo d'idrogeno, a cui si giunge, come si è detto, collo studio del fenomeno di Zeeman, e che d'altronde si deduce pure da diversi altri fenomeni.

I raggi catodici possono prodursi anche senza ricorrere alle scariche elettriche. Così, per esempio, un corpo esposto all'azione dei raggi luminosi o meglio ultravioletti emette degli elettroni. Se il gas ambiente non è estremamente rarefatto, essi si uniscono ad atomi neutri e formano dei ioni negativi; ma se il gas è soppresso

o quasi, gli elettroni rimangono liberi e si allontanano dal corpo formando dei veri raggi catodici (10), dotati generalmente di velocità minori di quelle che si hanno nei tubi da scariche, e tanto più piccole, quanto più basso è il potenziale negativo del corpo illuminato.

Anche nel caso dei raggi catodici non fu determinata isolatamente la massa degli elettroni, ma il rapporto che passa fra la carica elettrica di ciascuno e la massa. Tale determinazione si basa sugli effetti prodotti sui raggi catodici da forze elettriche, o da forze magnetiche, effetti che bene si accordano coll'ipotesi ammessa. È chiaro infatti, che le particelle negative in moto debbono deviare dal loro cammino ordinariamente rettilineo, se su di esse agisce una forza elettrica; e siccome una particella elettrizzata in moto deve comportarsi in una maniera analoga ad una corrente o meglio ad un elemento di corrente, così la particella stessa deve deviare dal suo cammino, quando sia esposta all'azione di un campo magnetico. Ma di simili fenomeni e delle relative misure ci occuperemo più avanti.

CAPITOLO IV.

I ioni nei gas e nei solidi.

Negli elettroliti gli elettroni sono congiunti agli atomi neutri per formare ioni liberi, ed è il moto dei ioni che costituisce la corrente elettrica. Si ritiene oggi che altrettanto avvenga nei gas, e cioè che, allorquando questi corpi posseggono conducibilità elettrica, ciò si debba alla presenza di ioni ed al loro moto sotto l'azione delle forze elettriche. L'ipotesi della *ionizzazione* dei gas, che da molto tempo era da pochi sostenuta, è ora generalmente ammessa in seguito alle numerose esperienze di questi ultimi anni.

Si ritiene dunque che un gas contenga dei ioni liberi. Essi sono ordinariamente in così scarsa quantità, che la conducibilità che ne risulta è minima. Ma vi sono circostanze nelle

quali, per opera di una appropriata energia esterna, il gas è *ionizzato*, ossia molti dei suoi atomi sono scissi in ioni positivi ed elettroni negativi. Questi ultimi, se il gas non è assai rarefatto, unendosi ad atomi neutri formano dei ioni negativi. Certi fatti sembrano poi indicare, che ai ioni possano unirsi atomi o molecole neutre, in modo da formare dei gruppi i quali, pur avendo la carica usuale dei ioni, posseggono masse molto maggiori di quelle che possono spettare ad un semplice ione.

Che la conducibilità elettrica dei gas sia dovuta alla presenza di particelle elettrizzate libere di muoversi fra le sue molecole, è la più naturale spiegazione dei fatti conosciuti ed in particolare dei seguenti.

Se un gas ionizzato si fa passare attraverso meati ristretti, per esempio attraverso un blocco di lana di vetro, o entro lunghi e sottili tubi metallici, o anche si fa gorgogliare attraverso un liquido conduttore (11) (che però non contenga sostanze radioattive), esso perde la propria conducibilità. Lo stesso risultato si ottiene, se si

fa passare il gas fra due conduttori oppostamente elettrizzati, in modo che esso serva da conduttore per la corrente. Nel primo caso il fatto si spiega per l'attrazione esercitata sui ioni dai corpi presso i quali essi passano; nel secondo caso i due conduttori attraggono e trattengono i ioni aventi carica opposta alla loro, e così ne liberano il gas.

Anche il modo nel quale si comporta un gas ionizzato quando trasmette la corrente elettrica è in perfetto accordo colla ipotesi ammessa. Supponiamo di avere, per esempio, due dischi metallici paralleli, uno dei quali comunichi col polo isolato di una pila e l'altro con un elettrometro. Se si ionizza l'aria interposta facendola attraversare da raggi di Röntgen, e si fa variare il valore del potenziale fornito dalla pila, si riconosce, che il gas non segue la legge ben nota di Ohm, che vale per le correnti elettriche costanti, ed in virtù della quale l'intensità della corrente in un conduttore cresce proporzionalmente alla differenza di potenziale delle sue estremità. Infatti l'intensità della corrente, misurata dalla carica

che in un tempo fisso e determinato acquista il disco comunicante coll' elettrometro, cresce assai meno rapidamente del detto potenziale. Anzi tale intensità finisce coll' assumere un valore limite, che più non aumenta, se si aumenta ancora il potenziale della pila. Quando la corrente ha raggiunto questo valore, detto di *saturazione*, tutti i ioni generati dai raggi di Röntgen in un dato tempo (o in generale prodotti da quella causa di ionizzazione che si impiega) sono utilizzati a trasmettere la corrente nel tempo medesimo. Un aumento di potenziale a nulla giova, non essendovi un maggior numero di ioni disponibili.

Infine anche un curioso fenomeno riscontrato da chi scrive (12), confermato e rettamente interpretato dai sig. J. J. Thomson e E. Rutherford, riceve dall' ammessa teoria la più ovvia spiegazione. Ecco di che si tratta. Se si fa variare la distanza fra i due dischi metallici considerati dianzi, varia pure l' intensità della corrente che attraversa l' aria ionizzata fra essi interposta, ma in senso contrario di ciò che si poteva supporre. Infatti, l' intensità della cor-

rente cresce (entro certi limiti) col crescere della detta distanza. ~~Ciò si spiega facilmente considerando, che coll' aumentare la distanza fra i due dischi metallici considerati dianzi, varia pure l'intensità della corrente che attraversa l'aria ionizzata fra essi interposta, ma in senso contrario di ciò che si poteva supporre. Infatti, l'intensità della corrente cresce (entro certi limiti) col crescere della detta distanza.~~ Ciò si spiega facilmente considerando, che coll' aumentare la distanza fra i dischi si aumenta il volume della massa d' aria che prende parte al fenomeno, e per conseguenza anche il numero di ioni, che col loro movimento costituiscono la corrente di saturazione.

I ioni nei gas si muovono fra le molecole urtandole di frequente. Nuovi ioni potranno formarsi dalla scissione di molecole neutre, e ioni di opposto segno potranno ricostituire molecole. Questo ultimo fatto, cioè lo sparire dei ioni, ha luogo continuamente, ed è ad esso che si deve se, sotto l' azione di una causa ionizzatrice, il numero dei ioni non cresce al di là di un certo limite.

Se i ioni sono generati in un porzione sola dei gas, essi si diffondono anche nella parte rimanente. Nei gas alla pressione ordinaria la velocità di diffusione è ordinariamente piccolissima in causa delle frequenti collisioni; ma se un campo elettrico agisce, la velocità di diffusione dei ioni divien grande, e fu trovata, la prima volta che una misura di questo genere venne fatta (13), di parecchie decine di metri al secondo.

I raggi ultravioletti, i raggi catodici, i raggi di Röntgen, i raggi emessi dai corpi radioattivi, il riscaldamento sino a temperatura abbastanza elevata, sono altrettante cause di ionizzazione. Questa è più o meno grande a seconda dei casi, ed è limitata, come si è già fatto notare, da una continua ricomposizione di atomi e molecole neutre.

Ma vi è un' altra causa di ionizzazione, alla quale si riduce poi in realtà qualcuna delle precedenti, ed è l' urto dei ioni, come pure degli elettroni (dei quali probabilmente qualcuno esiste almeno transitoriamente allo stato libero anche

in un gas alla pressione ordinaria) contro gli atomi e le molecole. Quando un ione possieda una velocità abbastanza grande, potrà fornire l' energia necessaria alla trasformazione di un atomo in ione positivo ed elettrone negativo, e quindi anche di una molecola in due ioni di segno opposto. Diciamo brevemente di questi varî modi di ionizzare un gas.

Le radiazioni luminose, e più specialmente le radiazioni ultraviolette, possono ionizzare i gas in due maniere. Se esse colpiscono un corpo solido o liquido, determinano una emissione di elettroni negativi, che ha per risultato la rapida scarica del corpo, se era elettrizzato negativamente, ed anche la formazione in esso di una carica positiva, come venne dimostrato da chi scrive (14). Di solito si fa l' esperienza coi metalli, perchè coi liquidi l' effetto è assai debole, ed i solidi isolanti meno si prestano alle determinazioni quantitative; e come radiazioni attive si impiegano quelle invisibili ultraviolette emesse dall' arco voltaico o dalle scintille elettriche, quantunque per certi corpi, come i metalli alca-

lini e lo zinco amalgamato, diano un effetto marcato anche i raggi visibili. Orbene, se il campo elettrico determinato dalla carica negativa del corpo è abbastanza intenso, gli elettroni negativi, da esso emessi, possono acquistare sufficiente velocità per ionizzare col loro urto gli atomi neutri.

Ma anche direttamente le più rifrangibili radiazioni ultraviolette, generate dalle scintille elettriche, producono la ionizzazione dei gas che esse attraversano, come ha dimostrato il Sig. Lenard (15) facendo agire le radiazioni emesse da scintille scoccanti fra fili di alluminio su corpi elettrizzati. Questi corpi si scaricavano press' a poco colla stessa rapidità, fossero essi carichi di elettricità positiva o di negativa, e qualunque fosse la loro natura e lo stato della loro superficie. Tutto ciò non poteva attribursi ad una azione di superficie, ma bensì ad una sulla massa dell'aria attraversata dalle radiazioni, e precisamente alla ionizzazione da queste prodotta. Un'esperienza, che può ripetersi anche con altri mezzi di ionizzazione, confermò quella spiegazione. Essa

consiste nel far fluire l'aria in modo che, dal luogo ove è ionizzata, si porti in altro luogo, ove in virtù della conducibilità che per un certo tempo essa conserva, determina lo scaricarsi di corpi elettrizzati. Basta intercettare le radiazioni perchè l'effetto cessi di prodursi.

Sembra che solo le più rapide vibrazioni ultraviolette producano in modo sensibile la ionizzazione diretta dei gas. Infatti non riescono le esperienze descritte che quando il cammino percorso nell'aria dalle radiazioni si riduce a pochi centimetri, ed è noto che le più rifrangibili radiazioni ultraviolette sono rapidamente assorbite dall'aria all'ordinaria pressione.

I raggi catodici, che altro non sono, come si è visto, che elettroni negativi in movimento, ionizzano i gas, come fra poco sarà spiegato con qualche dettaglio.

Quanto ai raggi di Röntgen, i quali verosimilmente sono la manifestazione di onde eteree generate da brusche variazioni di velocità degli elettroni, la ionizzazione dei gas da essi prodotta sembra dovuta all'impulso elettrico re-

pentino prodotto sugli elettroni degli atomi gassosi.

Infine, l' elevazione di temperatura, che equivale ad un aumento delle velocità atomiche, e verosimilmente anche delle velocità con cui vibrano gli elettroni negativi, tende naturalmente a liberare questi ultimi dal loro legame colla parte positiva dell' atomo. Un filo metallico arroventato ionizza il gas che lo tocca, ed i gas delle fiamme mostransi sempre fortemente ionizzati.

Affinchè le molecole d' un gas restino ionizzate dall' urto di quei ioni, che in esso già esistono, è generalmente necessario esporre il gas all' azione di forze elettriche abbastanza intense. In un campo troppo debole i ioni, pur obbedendo alla forza elettrica, non acquistano fra un urto e l' altro una velocità sufficiente, e l' effetto degli urti si riduce allora a mantenere costantemente piccola la detta velocità, giacchè naturalmente una parte dell' energia di moto dei ioni è comunicata alle molecole urtate. In tali circostanze le linee percorse dai ioni non possono che

pochissimo differire dalle linee di forza elettrica, o in altri termini i ioni devono continuamente muoversi press' a poco nella direzione stessa della forza che li sollecita. I fenomeni detti di *ombre elettriche* ed altri analoghi, dei quali troverà il Lettore una parziale descrizione in altro luogo (16), ne sono l' immediata conseguenza.

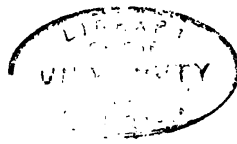
Ma quando sul gas agisce un campo elettrico d' intensità abbastanza grande, la ionizzazione per urto ha luogo, ed è su di essa che si fonda ora una soddisfacente spiegazione dei fenomeni complessi e svariati delle scariche elettriche. Il riferirne ci farebbe uscire dai limiti assegnati a questo capitolo; ma, in vista di ciò che segue, è utile richiamare, a guisa di esempio, la spiegazione, che si dà della formazione dei due strati di luce negativa e dello spazio oscuro fra essi compreso nel caso delle scariche in gas molto rarefatti.

Il fenomeno è iniziato dai pochi ioni ed elettroni esistenti nel gas, o forse anche da elettroni negativi espulsi dal catodo. Questi elettroni muovonsi con moto accelerato, ed acquistano rapida-

mente tale velocità, da divenir capaci di ionizzare per urto le molecole del gas a qualche distanza dal catodo, dando origine così al secondo strato negativo o bagliore. Questo bagliore è dunque una regione del gas ove avviene ionizzazione. I ioni positivi creati in tal modo saranno spinti dalla forza elettrica verso il catodo, ed in prossimità di questo possiederanno la velocità che loro occorre per ionizzare le molecole gassose, da cui la formazione del primo strato di luce negativa.

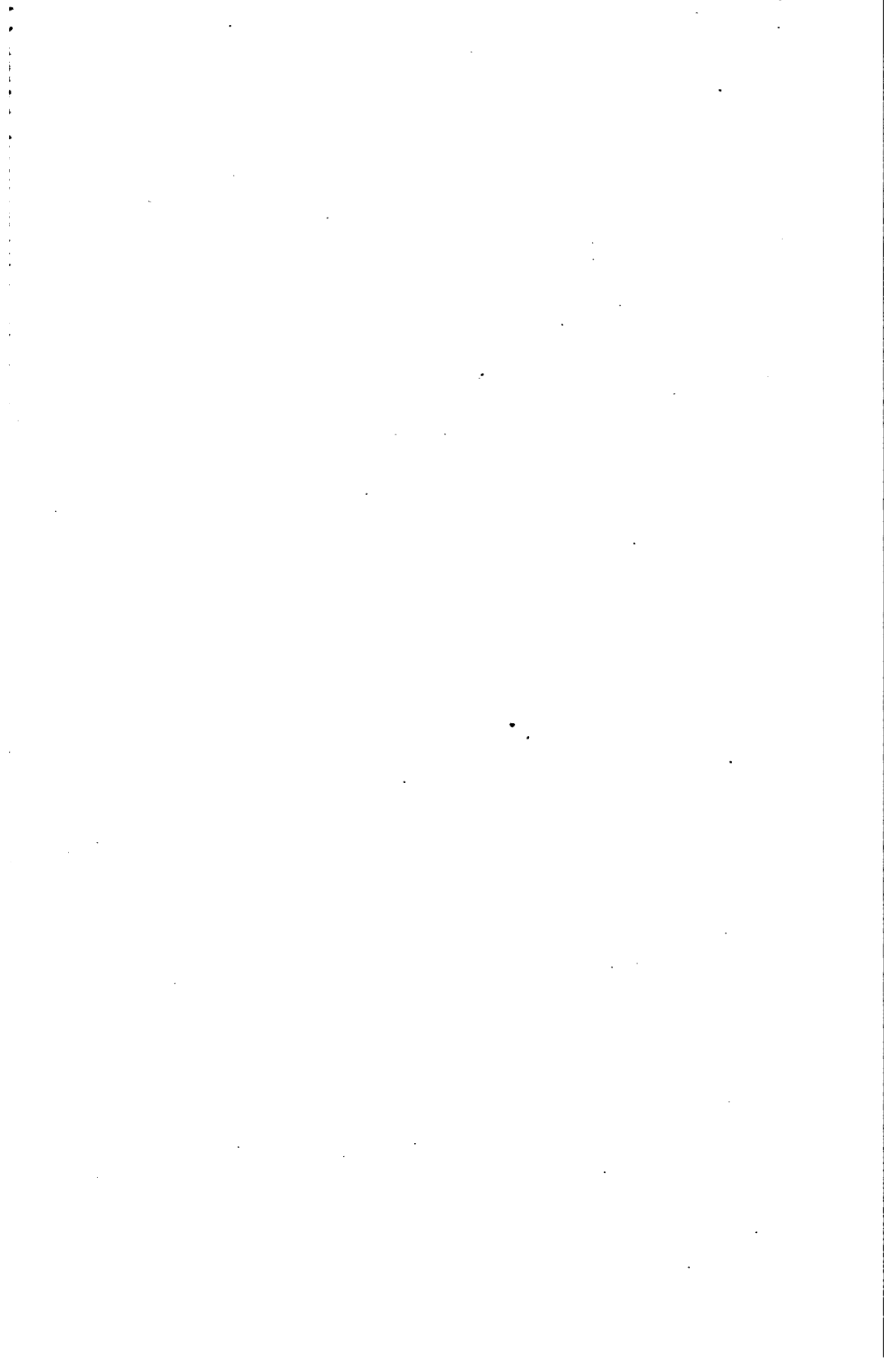
Gli elettroni prodotti in questa regione si muoveranno allontanandosi dal catodo, di guisa che le due regioni di ionizzazione forniscono l'una all'altra i ioni o gli elettroni occorrenti. Lo spazio oscuro del catodo non è altro dunque che lo spazio percorso dagli elettroni costituenti i raggi catodici, e sopratutto dai ioni positivi che si muovono verso il catodo, prima che acquistino le velocità necessarie per produrre la ionizzazione.

Non seguiremo più oltre gli elettroni negativi, dopo che sono giunti al primo strato nega-

tivo; c'interessa invece conoscere ciò che avviene dei ioni positivi arrivanti al catodo. Parte di essi naturalmente si neutralizza con elettroni negativi; ma gli altri, in causa della loro velocità e della diversa direzione che questa può avere in seguito agli urti, può girare il contorno del catodo, o anche attraversarlo se ha dei fori o canali, oppure se è in forma di rete metallica. I ioni positivi costituiscono allora al di là del catodo dei *raggi positivi* o *anodici* analoghi ai raggi catodici, e ai quali si dà spesso il nome di *raggi-canali*, col quale vennero designati dal sig. Goldstein.

Un campo elettrico od un campo magnetico fanno deviare i raggi positivi, ma in senso opposto a quello che si verificherebbe coi raggi catodici; è di qui appunto che si deduce essere tali raggi costituiti da particelle in moto elettrizzate positivamente. La deviazione peraltro è notevolmente più piccola a parità di circostanze per i raggi positivi, che per i raggi catodici, ed è di tal misura da dimostrare, che le particelle in moto non hanno una piccolissima massa,

come nel caso dei raggi catodici, ma una massa di grandezza paragonabile a quella degli atomi e dei ioni elettrolitici. Si ha dunque a che fare con ioni e non con elettroni positivi, e anche probabilmente con gruppi di maggior massa.

Ammesso che la conducibilità elettrica sia un fenomeno di trasporto tanto nei gas quanto nei liquidi, diventa sempre più naturale l' analoga ipotesi pei conduttori solidi, già enunciata nel Capitolo I. E poichè sembra che solo gli elettroni negativi e non quelli positivi possano esistere isolatamente, così si ritiene, che la corrente elettrica in un conduttore consista (almeno principalmente) nel moto di elettroni negativi. Che i metalli non offrano un insormontabile ostacolo al moto degli elettroni, lo mostra il fatto constatato dalla loro permeabilità per i raggi catodici. Senza entrare in dettagli si può aggiungere, che questa maniera di considerare la corrente permette di render conto assai bene di diversi fatti noti, come ad esempio l' essere fra loro proporzionali la conduttività calorifica e quella elettrica nei varî corpi, e di spiegare varî feno-

meni come quelli relativi alle proprietà ottiche dei metalli. Cosicchè anche in questo ordine di fenomeni la teoria degli elettroni, non solo non trova contraddizioni, ma si mostra atta a fornirne una semplice rappresentazione.

CAPITOLO V.

La radioattività.

La scoperta dei così detti raggi X, fatta conoscere dal prof. Röntgen nel principio del 1896, diede occasione a numerose esperienze intorno alla possibile esistenza di altre radiazioni capaci di agire sulle lastre fotografiche e di attraversare i corpi opachi.

Effetti di questo genere furono descritti dal Sig. Lebon; ma non se ne terrà qui parola essendosi riconosciuto che tali effetti, attribuiti da quello sperimentatore ad una nuova radiazione da lui chiamata *luce nera*, provenivano, il più delle volte almeno, da cause non aventi intima relazione col soggetto da trattarsi ora.

Hanno invece attinenza alla radioattività certe esperienze fatte dal Sig. Henry (17) col solfuro

di zinco fosforescente, dal Sig. Niewenglowski (18) col solfuro di calcio, e dal Sig. Becquerel (19) col solfato doppio di uranio e potassio, dalle quali risultava, che questi corpi emettono raggi capaci di agire sopra una lastra fotografica attraversando corpi opachi, allorchè se ne ecciti, colla luce o coi raggi X, la fosforescenza.

Nell' istituire le sue esperienze il Becquerel aveva uno scopo speciale. Si sapeva già che i raggi X avevano origine dalla parete situata di fronte al catodo e colpita dai raggi catodici, che in pari tempo la rendevano luminosa; era quindi naturale supporre, che la fosforescenza e l'emissione dei raggi X fossero fenomeni fra loro connessi, ciò che poi si è riconosciuto essere insussistente. Il sig. H. Becquerel voleva dunque ricercare, se corpi resi fosforescenti, non più dai raggi catodici ma dalla luce, emettessero dei raggi X. E siccome questi raggi possono impressionare una lastra fotografica, anche se è circondata da corpi opachi, così il fisico francese collocò sopra una lastra, in tal modo difesa dalla luce, varî corpi, ed espose il tutto alla luce del

sole. Dopo alcuni insuccessi egli ottenne un effetto sicuro con solfato doppio di uranio e potassio in forma di laminette cristalline, giacchè, sviluppando la lastra, vide una immagine delle laminette, e l' ombra d' una moneta d' argento, che era stata posta al disotto di una di esse. Sembrava dunque che il fenomeno preveduto avesse luogo realmente. Ma accadde al Becquerel di ottenere il medesimo effetto anche con una scarsa illuminazione in giornate nuvolose, onde sospettò, che l' effetto stesso non dipendesse dall' azione della luce. Ed infatti ben presto verificò (20), che il sale d' uranio emetteva continuamente e spontaneamente dei raggi capaci di attraversare corpi opachi e di agire sui preparati fotografici, senza che occorresse esporlo alle radiazioni luminose.

Le successive ricerche dimostrarono (21), che i raggi del sale di uranio dividono coi raggi X, non solo le proprietà di attraversare corpi opachi, di agire sulle lastre fotografiche, di rendere luminosi i corpi fosforescenti, e, come si constatò poi, lè proprietà negative di non essere passibili

di riflessione e di rifrazione, e quindi anche di polarizzazione, ma ancora un' altra proprietà, che fu riconosciuta ai raggi X poco dopo che furono scoperti (22), e cioè quella di ionizzare i gas che attraversano; donde un metodo di studio dei raggi di Becquerel più rapido del metodo fotografico, e che consiste nel misurare la velocità, con cui si scarica un corpo elettrizzato, quando il gas che lo circonda è esposto all' azione di quei raggi.

Si può ricorrere per questo scopo ad un elettrometro qualunque posto in comunicazione con un disco metallico, che si trova a qualche distanza da un altro; e si può sperimentare in due modi. O si mette il secondo disco in comunicazione col suolo, ed allora si studia coll' elettrometro la velocità con cui diminuisce una carica elettrica ad esso comunicata, quando l' aria interposta ai dischi è ionizzata dal corpo radioattivo. Oppure si dà una carica elettrica al secondo disco, ed allora si osserva con quale rapidità l' elettrometro devìa. Con corpi molto attivi si potrebbe ricorrere al galvanometro; invece, quando si stu-

dino corpi di radioattività debolissima, si dà la preferenza all' elettrometro a foglie d' oro, o meglio ad un elettroscopio ad una sola foglia, costituito semplicemente da un' asticella metallica verticale *A B* (fig. 10), alla sommità della quale è attaccata la sottilissima foglia d' oro o di alluminio *C D*. Per rendere sicuro l' isolamento l' asticella è sostenuta da un bastoncino di solfo *S*. La capacità elettrica del sistema conduttore *A B C D* è piccolissima, è perciò la diminuzione di divergenza della fogliolina *C D* non risulta troppo lenta. L' elettroscopio diventa poi elettrometro, se si osserva la posizione di *C D* con un microscopio munito di una scala oculare. Si può infatti, mediante una batteria di piccoli accumulatori, trovare in precedenza qual potenziale corrisponda ad ogni divisione della scala.

S A C D B

Fig. 10.

Chi scrive preferisce un elettrometro leggermente diverso, da questo divenuto classico per gli studi dei corpi debolmente radioattivi. L' iso-

latore di zolfo, oppure di quarzo fuso, *S* (fig. 11) è assai sottile e fissato con mastice o con guttapercha al fondo di una minuscola campanella metallica connessa all' asticella *A B*. Questo modo

Fig. 11.

di attacco evita od attenua il diffondersi della carica dell' asticella sulla superficie dell' isolatore. Inoltre l' autore, riprendendo una disposizione da lui stesso ideata molto tempo fa, sostituisce alla scala annessa all' oculare del microscopio una scala ordinaria a millimetri, posta a qualche metro dall'elettrometro. Una lente convergente acromatica forma un' immagine reale di questa scala nel piano in cui si muove la fogliolina metallica, per cui nel campo del microscopio si vede simultaneamente e la fogliolina e la scala.

In uno degli elettrometri testè costruiti da chi scrive, l' asticella e la foglia d' oro hanno appena $^1/_4$ delle dimensioni che mostrano nella fig. 11. Esso è particolarmente adatto alla dimostrazione della radioattività, giacchè basta accostare ad esso un sale d' uranio, onde i raggi da questo

emessi, i quali penetrano nella cassetta contenente la foglia d'oro attraversandone una parete formata da sottilissimo alluminio, facciano scendere a vista d'occhio la fogliolina in precedenza elettrizzata.

Col moltiplicarsi delle esperienze si stabilì poi che sono *radioattivi*, ossia emettono raggi di Becquerel, tutti i composti di uranio, e che sono tali in ragione della quantità di uranio che essi contengono; ciò che dimostra essere la radioattività una proprietà dell'atomo dell'uranio, la quale si conserva inalterata, allorchè l'atomo stesso entra in combinazione con atomi d'altra specie chimica.

Come l'uranio, e ad un grado poco diverso, è radioattivo il torio, ciò che venne constatato indipendentemente dal sig. Schmidt (23) e dalla sig.ra Curie (24).

Ma difficilmente si avrebbe forse potuto studiare in modo più completo la radioattività, e determinare le modalità e le cause immediate probabili di questo interessante fenomeno, o almeno tutto ciò avrebbe richiesto lungo tempo e

accuratissime ricerche, se non si fossero scoperti certi corpi, la cui radioattività può dirsi centinaia e migliaia di volte maggiore di quella dell' uranio.

Accadde al sig.re e alla sig.ra Curie di trovare certi campioni di calcolite e di pechblenda (segnatamente quella che si ricava a Joachimsthal) alquanto più attivi dell' uranio puro. Rammentando che la radioattività è proprietà atomica, il fenomeno non poteva essere attribuito ad uranio contenuto in quei minerali, e bisognava supporre la presenza in essi di una sostanza sconosciuta, più attiva dell' uranio stesso. Ricorrendo a metodi fisici e chimici di separazione, furono estratti da quei minerali certi composti di bismuto aventi una radioattività ben 400 volte maggiore di quella dell' uranio (25). Fu dato il nome di *polonio* all' incognita sostanza in essi contenuta, e la cui radioattività lentamente diminuisce coll' andar del tempo. Più tardi i coniugi Curie insieme al sig. Bémont (26) estrassero dalla pechblenda una piccola quantità di un corpo attivissimo, chimicamente analogo al bario

e con questo associato quasi in ogni reazione, cui fu posto il nome di *radio*. Un altro corpo radioattivo associato al torio e avente analogo comportamento chimico fu scoperto dal sig. Debierne (27), che lo chiamò *attinio*.

Altre sostanze notevolmente radioattive furono ricavate da diversi minerali, ma sopratutto dalla pechblenda, per opera di varî altri sperimentatori; ma non ne è ancora ben conosciuta la natura. Così i sig.ri Elster e Geitel (28) ricavarono un solfato di piombo assai radioattivo, il quale però sembra contenesse semplicemente del bario radifero. Neppure ben caratterizzato fu il piombo radioattivo ottenuto dal sig. Giesel (29); mentre quello trovato dai sig.ri Hofmann e Strauss (30) rassomiglierebbe sotto certi rapporti al polonio. Il piombo attivo, o *radio-piombo* di questi autori mostrò una proprietà degna di menzione. Il solfato di piombo attivo perde in certe circostanze buona parte della sua radioattività, per ricuperarla poi lentamente; ma se lo si espone all' urto dei raggi catodici la proprietà radioattiva si ripristina in pochi minuti.

Recentemente i sig.[ri] Hofmann e Wolf (31) hanno in parte separato la sostanza attiva dal piombo inattivo, ed hanno riconosciuto che essa differisce dal polonio della sig.[ra] Curie per la costanza della sua radioattività.

Anche il corpo chiamato *radio-tellurio* dal sig. Marckwald (32) rassomiglia nelle sua proprietà al polonio, differendone solo in ciò, che la sua radioattività non sembra diminuire col tempo. Il radiotellurio sarebbe il corpo cui è dovuta l' attività del bismuto tratto dalla pechblenda di Joachimsthal, ed è da quell'autore considerato come un nuovo corpo appartenente alla serie del solfo e del tellurio, perchè esso si deposita su bastoncini di bismuto o di antimonio introdotti nella soluzione acida di cloruro di bismuto attivo. Da 850 gr. di questo sale, il sig. Marckwald ottenne così circa 6 decigrammi di sostanza assai attiva.

Un bismuto attivo assai simile a quello degli altri sperimentatori fu ricavato dal sig. Giesel (33), che poi ne separò un prodotto identico a quello del Marchwald.

Infine un supposto nuovo elemento radioattivo fu separato dal torio dal sig. Baskerville, che lo chiamò *carolinio* (34).

Come si vede regna ancora una grande incertezza intorno alla natura e alla stessa esistenza distinta della maggior parte delle sostanze radioattive, tanto che vi ha chi considera gli effetti attribuiti al polonio della sig.ra Curie, come dovuti ad una radioattività *indotta*, cioè ad un fenomeno transitorio di cui si terrà parola più oltre, come pure chi ammette una identità di origine fra il torio radioattivo e l'attinio. La chimica dei corpi radioattivi non è che al suo inizio, e solo sembra omai accertata l'esistenza del radio, come elemento distinto dagli altri, di cui d'altronde si conosce già lo spettro che lo caratterizza. Non fu preparato allo stato libero, ma però se ne conoscono alcuni sali. Così la piccola quantità di sostanza radioattiva, che i sig.ri Curie pazientemente seppero per la prima volta ricavare da più tonnellate di residui di pechblenda, che aveva servito per estrarne l'uranio, era costituita da cloruro di radio.

I detti residui contengono dei composti di quasi tutti i metalli, fra cui il bario, il bismuto, ed i metalli delle terre rare. Processi chimici, che troppo lungo sarebbe descrivere, permettono di ricavare separatamente il bario insieme al radio, il bismuto insieme al polonio, e le terre rare insieme all'attinio; dopo di che rimane a separare ciascuno dei corpi radioattivi dal corpo al quale va congiunto ad onta delle reazioni chimiche subìte. Questa separazione, alla quale la sig.ra Curie ha dedicato più anni di lavoro, non è dunque finora perfettamente riescita che nel caso del radio col seguente processo.

Il cloruro di bario radifero, che si ricava nella quantità di circa 8 chilogrammi per tonnellata di residui di pechblenda, viene sciolto a caldo nell'acqua, in modo da formarne una soluzione satura. Questa col raffreddamento lascia depositare dei cristalli, che chiameremo *A*, mentre facendo evaporare a parte la soluzione restante, se ne ricava altro cloruro che diremo *B*. Essendo il cloruro di radio un poco meno solubile di quello di bario accade, che il cloruro *A*

è più ricco in radio e quello *B* più povero, del cloruro impiegato a fare la soluzione, ciò che si stabilisce esaminandone la radioattività rispettiva. Si procede allora ad una seconda eguale operazione tanto sul prodotto *A* che sul prodotto *B*, dopo di chè si hanno quattro porzioni diversamente ricche in radio, che però si riducono a tre riunendo insieme la parte meno radioattiva ricavata da *A* colla più radioattiva ottenuta da *B*, le quali hanno sensibilmente lo stesso grado di radioattività. Si prosegue a lungo nello stesso modo; però, per non aumentare soverchiamente il numero delle porzioni, si ha cura di non tener conto di quelle la cui radioattività è piccolissima, e di cessare le operazioni su quelle la cui radioattività è assai elevata. È utile altresì servirsi dell'acqua madre raccolta in una operazione per sciogliere i cristalli ottenuti nella successiva. Quando con questo processo si è eliminata la maggior parte della sostanza inattiva, lo si prosegue ancora, ma avendo cura di eliminare con minor parsimonia le parti meno attive. Così facendo si perderà un poco di radio, ma più ra-

pidamente procederà la purificazione, per la quale conviene ora acidulare di più in più il solvente con acido cloridico puro. Alla fine si arriva ad isolare del cloruro di radio sensibilmente puro nella quantità di due o tre decigrammi per tonnellata di residui impiegata. Si prepara oggi allo stato di purezza anche il bromuro di radio.

Oltre che la misura del grado crescente di radioattività, anche l'esame spettroscopico del prodotto potrebbe servire a valutarne la purezza. Il radio possiede infatti uno spettro, che lo caratterizza perfettamente, e che fu studiato dal sig. Demarçay; insieme a questo spettro appare quello del bario, se si esamina un prodotto impuro; ma col procedere della depurazione le righe di questo metallo si affievoliscono e alla fine spariscono quasi completamente.

Constatati i principali effetti dovuti ai corpi radioattivi, l'attenzione dei fisici fu rivolta allo studio diretto dei raggi emessi.

Le radiazioni conosciute sono, o almeno si ammette siano, di due specie, e cioè o dovute ad onde propagate nell' etere, o al movimento di

particelle materiali elettrizzate. Appartengono alla prima specie, non solo i raggi luminosi propriamente detti, nonchè i raggi invisibili calorifici e i raggi invisibili ultravioletti, ma anche, secondo si ritiene, i raggi di Röntgen. Alla seconda specie appartengono i raggi catodici, che appunto si considerano dovuti al moto degli elettroni negativi.

Non è difficile decidere sulla natura di radiazioni nuove, che appartengano all' una o all' altra di queste due categorie. Infatti, mentre un campo elettrico od un campo magnetico non possono menomamente modificare la forma dei raggi luminosi, di Röntgen, ecc., essi debbono incurvare sensibilmente le traiettorie percorse da particelle elettrizzate, salvo che la velocità di queste sia eccessiva. Esistono peraltro, a quanto pare, certe nuove radiazioni, alle quali il sig. Blondlot, che le ha scoperte, ha dato il nome di raggi *n* (35), le quali sembrano partecipare della proprietà dei raggi calorifici, ma che sarebbero dotate di altre proprietà assai strane. Di esse qui non intendo parlare, in quanto che la loro natura è ancora enigmatica.

Per acquistare qualche nozione intorno alla natura dei raggi emessi dai corpi radioattivi era dunque necessario far agire su di essi forze magnetiche o forze elettriche, e perciò collocare il corpo radioattivo, o fra i poli di una calamita potente, o fra due lastre metalliche oppostamente elettrizzate. Inoltre, per riconoscere le possibili deformazioni dei raggi, occorreva farli passare per una stretta apertura praticata in un diaframma, e collocare al di là di questo un corpo fosforescente oppure una lastra fotografica avvolta in carta nera per ripararla dalla luce. Col corpo fosforescente si vedrà lo spostamento della regione luminosa, se il campo elettrico o magnetico deforma i raggi, e lo stesso risultato si constaterà sviluppando la lastra. L'uso di questa sarà però generalmente preferibile, giacchè la durata della posa, che si può far lunga finchè si vuole, compenserà eventualmente la scarsa intensità delle radiazioni che si studiano.

Applicando questi metodi si riconobbe dapprima, che in generale un corpo radioattivo emette raggi deviabili nel campo magnetico ed

elettrico, e in pari tempo raggi non deviabili. Si constatò inoltre, che i primi si comportano in tutto come velocissimi raggi catodici, cioè come costituiti da elettroni negativi lanciati in linea retta con enorme velocità. Vedremo anzi più oltre, che questa velocità può misurarsi, e che il rapporto fra carica elettrica e massa ha sensibilmente il valore stesso trovato nel caso dei raggi catodici.

Ricerche ulteriori hanno poi dimostrata la produzione, per parte del radio e di altri corpi fortemente radioattivi, di altri raggi deviati dalle forze elettriche e magnetiche assai meno dei raggi catodici, ma in senso contrario. Per cui si può dire, che i corpi radioattivi emettono tre specie di raggi. Ed è probabile che ciò valga per tutti i corpi, giacchè, se qualcuna di queste specie di raggi non è stata constatata ancora nell'emissione complessa di alcuni corpi radioattivi, ciò forse dipende semplicemente dall'essere per quei corpi certi raggi meno intensi e quindi meno facili ad essere svelati.

Un esempio si ha nel polonio della Sig.ª Curie,

che emette, esclusivamente o quasi, raggi deviabili all' opposto dei raggi catodici.

I raggi deviabili non si possono considerare che come costituiti dall' emissione di particelle elettrizzate. Il senso delle deviazioni fa conoscere il segno delle cariche, mentre la misura delle deviazioni stesse permette di valutare la velocità di cui le particelle sono dotate, come pure il rapporto che passa fra la carica e la massa di ciascuna di esse, e per conseguenza questa separatamente, se si ammette aver la carica elettrica quel costante valore che spetta ad un ione elettrolitico d' idrogeno. Chiamando α, β, γ, col sig. Rutherford, le tre specie di raggi emessi dal radio (e forse in generale da ogni corpo radioattivo), ecco quanto intorno ad essi si ricava dalle ricerche fatte.

Il comportamento dei raggi α è tale, da confermare l' ipotesi del sig. Strutt (36), che li suppone costituiti da ioni positivi lanciati in ogni direzione dai corpi radioattivi. Infatti fu constatato dal sig. Rutherford (37), che essi trasportano cariche positive, mentre il sig. Becquerel (38) ri-

conobbe, che essi sono deviati da un campo magnetico in senso inverso dei raggi catodici.

Se, per esempio, i raggi partono da una piccola quantità d'un sale di radio contenuta in un minuscolo recipiente di piombo *P* (fig. 12), essi si propagano in linea retta nella direzione *PC*;

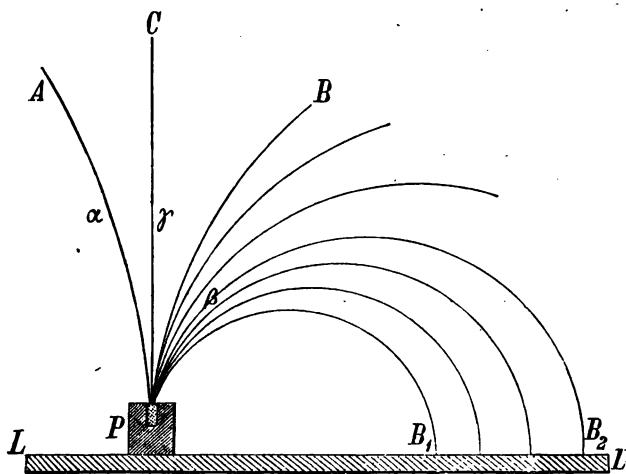



Fig. 12.

ma se si fa agire un campo magnetico perpendicolare al piano della figura, i raggi α si separano dagli altri, incurvandosi secondo l'arco di cerchio *PA*.

Misurata la velocità ed il rapporto fra la carica e la massa delle particelle costituenti i

raggi α si trovò, che la velocità può arrivare a circa un decimo di quella della luce, e che il suddetto rapporto indica avere quelle particelle una massa di grandezza atomica. Si può dunque dire, che i raggi α sono identici a raggi-canali dotati di grande velocità.

È ai raggi α che sembra specialmente dovuta la ionizzazione dei gas, evidentemente per effetto dei loro urti. Il fenomeno resta assai circoscritto, se il gas che circonda il corpo radioattivo è alla pressione ordinaria. Infatti i raggi α del radio sono poco penetranti, bastando uno spessore d'aria ordinaria uguale a 10 centimetri, oppure una lamina d'alluminio di meno d'un decimo di millimetro di spessore per assorbirne la massima parte.

I raggi β si comportano in tutto come raggi catodici assai penetranti. Sono cioè costituiti da elettroni negativi lanciati in ogni direzione: la velocità di essi è enorme, giacchè può arrivare ad essere di poco inferiore a quella della luce.

Ciò risulta in particolare dall'effetto che su di essi produce il campo magnetico, effetto che

venne constatato quasi nello stesso tempo dai Sig. Becquerel (39), Giesel (40), Meyer e v. Schweidler (41) e Dorn (42). Invece di incurvarsi come i raggi α, essi si piegano assai più e in senso opposto, come mostra la fig. 12. La curvatura di alcuni dei raggi β può essere così forte, che essi arrivino a colpire in B_1B_2 una lastra fotografica LL, sulla quale sia stato collocato il recipiente di piombo P.

Il prodursi di raggi più o meno incurvati per azione del campo magnetico proviene da ciò, che le velocità degli elettroni negativi, di cui i raggi β non sono altro che le traiettorie, hanno valori svariati. Mentre i meno veloci sono quelli ai quali il campo magnetico fa percorrere i semicerchi di minor raggio, quelli dotati di grandi velocità percorrono archi di raggio grande. Si spiega così come si ottenga sopra una lastra fotografica una imagine allungata. Per mezzo di questa è poi facile verificare, che i raggi meno deviati, e costituiti da elettroni animati da velocità grandissime, sono anche i più penetranti. Infatti una lastra posta sul cammino dei raggi β

assorbe più degli altri i raggi più deviati prossimi a B_1. Del resto la varietà di raggi β è assai grande; e mentre alcuni sono arrestati già da una laminetta d'alluminio grossa un centesimo di millimetro, altri possono attraversare parecchi millimetri di piombo.

Che realmente i raggi β trasportino cariche negative, fu direttamente dimostrato dai coniugi Curie (43). Nella esperienza di questi fisici i raggi α erano arrestati da una laminetta di alluminio, e così solo l'effetto dei β era rivelato dall'elettrometro.

Mentre i raggi α e β sono deviati in un campo elettrico o magnetico, i raggi γ non lo sono affatto. Perciò quelli emessi dal corpo radioattivo contenuto in P (fig. 12) conservano il loro andamento rettilineo PC, anche se su di essi agisce il campo magnetico.

Come i raggi β anche i γ non sono omogenei, essendovene dei più e dei meno penetranti. Queste proprietà li fanno somigliare grandemente ai raggi di Röntgen, e come tali sono oggi generalmente considerati. Fu bensì riconosciuto, che

la conducibilità eccitata nei varî gas dai raggi γ non è proporzionale a quella prodotta dai raggi X, ciò che sembrava stabilire una differenza di natura fra le due specie di raggi. Ma recenti esperienze hanno dimostrato che quella diversità di comportamento dipende solo dall'essere in complesso i raggi γ comparabili soltanto ai più penetranti dei raggi X. Infatti, i rapporti fra le conducibilità prodotte nei varî gas dai raggi γ e dai raggi X tendono all'unità, allorchè il confronto si stabilisce fra i raggi γ e i raggi di Röntgen dati da tubi *duri* e fatti passare attraverso una lamina di piombo prima di arrivare al gas che debbono ionizzare.

Quando le tre specie di raggi colpiscono od attraversano i varî corpi, si producono a seconda della natura dei corpi stessi diversi effetti, che risultano particolarmente evidenti quando si adoperi un sale di radio; taluni di essi si sono anzi finora osservati solo in questa sostanza. Non è possibile isolare completamente i raggi d'una specie dagli altri, e studiare separatamente i fenomeni da essi provocati; ma si riesce, mediante

l' interposizione di lastre assorbenti a trattenere i raggi meno penetranti, per esempio i raggi α, oppure questi insieme a parte dei raggi β, o infine a lasciare passare solo i raggi γ; e ciò basta in molti casi per potere riconoscere quali effetti producano gli uni o gli altri.

Gli effetti prodotti dai corpi radioattivi e particolarmente dal radio possono classificarsi in effetti luminosi, chimici, elettrici, meccanici, calorifici, fisiologici. Ecco quando si può dire intorno ad essi, oltre a ciò che è stato esposto precedentemente.

La fosforescenza e la fluorescenza sembrano risultare sopratutto dall' azione dei raggi α e β; ma certi corpi divengono più vivamente luminosi quando sono colpiti dagli α, altri invece quando lo sono dai β. Per esempio, la blenda esagonale s' illumina particolarmente bene sotto l' azione dei raggi α del radio.

Il Crookes ha costruito un piccolo strumento chiamato *spintariscopio* (44), col quale si osserva appunto l' effetto prodotto dal radio sopra uno schermo ricoperto di solfuro di zinco fosfore-

scente. Una particella di un sale di radio è fissata a mezzo millimetro circa di distanza dallo schermo, e si osserva quest' ultimo con una lente o un microscopio. Si veggono così dei punti brillanti, che compaiono or qua or là spegnendosi immediatamente, e che danno così un effetto di scintillazione. Ogni punto luminoso sarebbe generato, secondo il Crookes, dall' urto di un ione positivo. Secondo il Becquerel quella scintillazione sarebbe dovuta a rotture o a sfaldature dei cristallini formanti lo strato fosforescente, giacchè ottenne effetti simili schiacciando il corpo fra due lastre di vetro (45). In ogni caso dunque il singolare fenomeno luminoso dello spintariscopio sarebbe solo indirettamente dovuto al supposto bombardamento prodotto dai raggi α sul corpo fosforescente.

I sali di radio sono luminosi, ciò che è stato attribuito ad una fosforescenza eccitata dai raggi da essi stessi generati. Ma potrebbe darsi che la luce fosse prodotta nell' urto dei ioni α o degli elettroni β, non già contro le molecole del corpo radioattivo, ma contro quelle del gas ambiente o dei gas che lentamente si sprigionano dai sali di

radio; e si potrebbe anche supporre, che la causa di quel fenomeno luminoso fosse trasformazione del radio in *emanazione*, della quale si parlerà più oltre. Intanto è stato riconosciuto dal Sig. Huggins e dalla sua Signora (46), che lo spettro della luce emessa dal radio è costituito da righe coincidenti con alcune di quelle dell' azoto, ed identico o quasi a quello del bagliore negativo prodotto nell' aria alla pressione ordinaria.

Recentemente il Sig. Becquerel (47) ha poi osservato, che anche i sali di uranio sono spontaneamente luminosi. Basta guardare ad occhio riposato, per esempio durante la notte, un vasetto di vetro contenente del nitrato d' uranio per convincersene. Chi scrive ha in tale occasione osservato un vivissimo scintillamento, agitando il vaso contenente quel sale; ragione per cui conviene non agitarlo troppo, se si vuole constatare la spontanea emissione di luce e non confonderla con quella, probabilmente di origine elettrica, che si produce collo scuotimento.

Le sostanze fosforescenti si alterano sotto l' azione dei raggi emessi dal radio, e spesso

cambiano colore: lo stesso vetro diviene violetto o nerastro; così modificato esso è *termoluminescente*, giacchè diviene luminoso scaldandolo sin verso i 500.°

Queste modificazioni sono probabilmente d'ordine chimico, come quelle cui si devono le imagini su lastre fotografiche.

Stante il diverso grado di assorbimento, che i corpi di differenti densità esercitano sui raggi del radio, è possibile ottenere con essi delle ***radiografie*** simili a quelle, oggi tanto note, che si ottengono coi raggi X. Però queste ultime sono sempre di gran lunga più perfette.

Altre azioni chimiche prodotte dai corpi radioattivi e particolarmente dal radio sono le seguenti.

Secondo Becquerel una soluzione di bicloruro di mercurio ed acido ossalico (6 grammi e mezzo di bicloruro, 12 e mezzo di acido ossalico e 100 di acqua) deposita del calomelano sotto l'azione dei raggi del radio; questi agiscono dunque in tal caso come i raggi luminosi.

Sotto l'azione dei raggi del radio il fosforo or-

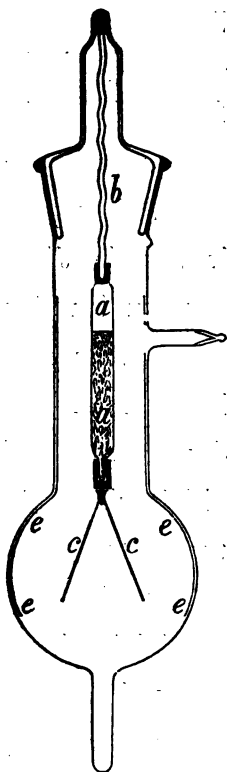
dinario si trasforma in fosforo rosso, e l' ossigeno in ozono. E sembrano doversi attribuire a modificazioni chimiche i cambiamenti di colore che mostrano il vetro, il platinocianuro di bario, ecc. L' ultima sostanza diviene in pari tempo meno fosforescente; ma questa sua proprietà viene ripristinata dalla luce solare. È poi cosa assai singolare, che i raggi del radio non modifichino sensibilmente il ioduro d' argento delle lastre di Daguerre.

Poichè i raggi α e β consistono nella emissione di ioni positivi e, rispettivamente, di elettroni negativi, è naturale che, arrestando gli uni e non gli altri, debbano prodursi cariche elettriche. I corpi radioattivi divengono così una continua sorgente di elettricità. Anche lasciando libero corso a tutti i raggi il corpo radioattivo si elettrizzerebbe, qualora la quantità di elettricità positiva trasportata dai raggi α non fosse eguale a quella negativa portata lontano nel medesimo tempo dai raggi β. Apposite esperienze hanno dimostrato che ciò non accade (48), e cioè che vi è compensazione fra le cariche dei due segni.

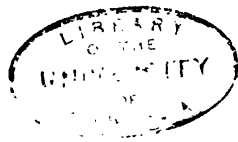
Se però un involucro, per esempio di vetro non troppo sottile, arresta i raggi α, questo involucro si elettrizzerá positivamente. L'esperienza fu fatta dal Sig. Wien, mediante un poco di bromuro di radio posto in un tubetto di vetro fasciato con foglia d'alluminio, e sospeso ad un filo metallico di comunicazione, entro un tubo vuoto. La soppressione del gas intorno al tubetto è necessaria affinchè la carica di esso non si disperda in causa della conducibilità del gas ionizzato. In certi casi si arriva ad ottenere scintille, per esempio aprendo un tubetto contenente radio (49).

Un grazioso apparecchio (fig. 13) ideato dal Sig. Strutt (50) mette in evidenza la continua produzione di elettricità per opera del radio.

Fig. 13.

Entro un recipiente di vetro ermeticamente chiuso ed in cui fu fatto un buon vuoto trovasi

un tubetto chiuso *a* contenente un corpo radioattivo. Questo tubetto è sostenuto da un isolatore di quarzo fuso *b*, ha la sua superfice coperta d'uno strato conduttore (p. es. spalmata con acido fosforico), e regge due foglie d'oro *cc* formanti un elettroscopio.

Queste foglie veggonsi continuamente in lento moto. Esse poco a poco si aprono sinchè toccano le striscie di stagnola *ee* applicate alle pareti e comunicanti col suolo. Allora ricadono istantaneamente a contatto, per allontanarsi di nuovo lentamente, e così di seguito. Questo effetto è dovuto alla carica positiva che i raggi α assorbiti lasciano al tubetto, mentre la carica negativa è trasportata lontana dai raggi β.

Un altro effetto d'ordine elettrico dovuto ai raggi del radio si ottiene, secondo il Sig. Curie (51), nel modo seguente. Si dispongano dei conduttori in maniera tale, che le scariche d'una macchina elettrica o di un rocchetto possano seguire due diverse vie, in ciascuna delle quali si abbia una interruzione per la formazione delle scintille. Se queste due interruzioni sono equivalenti, nel

senso che la scarica segua indifferentemente l' una o l' altra delle due vie che gli sono offerte, basta avvicinare il radio ad una delle due interruzioni, perchè in quella e non più nell' altra si formi la scintilla di scarica. I raggi del radio producono dunque un' azione, simile a quella che in certe circostanze è data dai raggi di Röntgen, tendente a favorire la produzione delle scintille.

Un ultimo effetto elettrico del radio è quello recentemente annunciato, e cioè una diminuzione di resistenza elettrica del bismuto, allorchè presso questo metallo, in forma di lamina sottile, è portato a piccolissima distanza il corpo radioattivo.

Poichè i raggi α consistono in ioni positivi, l'emissione di essi è necessariamente emissione di materia; e, come si vedrà, si può sotto un certo punto di vista dire altrettanto pei raggi β. È da prevedersi dunque una continua diminuzione di peso dei corpi radioattivi. Il Sig. Heydweiller (52) credè di riscontrarla; ma il Sig. Dorn (53) non potè averne conferma, pur impiegando un corpo di maggiore radioattività. Si tratta dunque di una

diminuzione di massa così piccola, da sfuggire alle ordinarie determinazioni.

L'emissione delle varie specie di raggi è accompagnata nel radio da una continua produzione di calore. I sig.ri Curie e Laborde (54) riconobbero infatti, che una piccola quantità di sale di radio conservava costantemente una temperatura più elevata della temperatura ambiente.

L'esperienza assai semplice è così descritta dalla sig.ra Curie. Un'ampolletta di vetro chiusa, contenente 7 decigrammi di bromuro di radio puro, è messa entro un vaso di vetro a doppia parete chiuso con cotone, insieme ad un termometro a mercurio. Fra le due pareti del vaso è fatto il vuoto, ed è anzi uno di quei vasi che si adoperano per la conservazione dell'aria liquida, appunto in grazia del buon isolamento calorifico che in tal modo si ottiene. Un egual termometro insieme ad una eguale ampolletta di vetro, la quale però contiene invece del corpo radioattivo un corpo inattivo come sarebbe il cloruro di bario, sono collocati entro un secondo vaso di vetro simile al precedente. Una volta

stabilito l'equilibrio di temperatura si osserva, che il primo termometro segna una temperatura di circa 3° superiore a quella del secondo.

Per misurare la quantità di calore continuamente svolto dal sale di radio, ne fu introdotta una piccola quantità in un calorimetro di Bunsen. Dalla quantità di ghiaccio che si fondeva in un determinato tempo si dedusse, che il calore sviluppato in un'ora dal corpo radioattivo sarebbe sufficiente per fondere un peso di ghiaccio eguale al suo, o anche per riscaldare di circa 80° un egual peso di acqua. E così si vede, come la quantità di calore fornita dal radio sia relativamente assai grande.

Un effetto termico d'altro genere è quello dimostrato dal sig. Georgiewski (55). Secondo questo autore, mentre la velocità di raffreddamento di un corpo caldo non varia, quando si ionizza coi raggi del radio il gas che lo circonda, il raffreddamento stesso si accelera se il corpo caldo è elettrizzato, e sopra tutto se lo è negativamente. Questo risultato fu osservato non solo coll'aria, ma anche con altri gas, sia che si la-

sciassero agire tutti i raggi del radio, sia che i raggi α fossero trattenuti.

I raggi del radio, e in generale dei corpi radioattivi, colpendo un corpo inattivo, gli fanno emettere nuovi raggi, detti *raggi secondari*. Questa emissione è contemporanea all' azione dei raggi incidenti, ciò che distingue questo fenomeno da quello della radioattività indotta, di cui si parlerà più avanti. La proprietà di eccitare raggi secondari appartiene anche ad altre radiazioni, come i raggi X ed i raggi catodici, ed in tutti i casi i raggi secondari diversificano da quelli eccitatori. Così si può dire, che i raggi X sono raggi secondari prodotti dai raggi catodici, i quali alla lor volta possono essere generati dai raggi X (56). Questi ultimi producono inoltre raggi secondari della loro stessa natura, ma meno penetranti. I raggi luminosi ed ultravioletti possono dare raggi catodici come raggi secondari, ecc. I raggi dei corpi radioattivi producono effetti di tal genere, che peraltro non sono stati ancora studiati in modo esauriente.

Oltre agli effetti già descritti i raggi emessi

dal radio hanno azioni pronunciatissime sui tessuti viventi, che possono arrivare fino alla produzione di profonde lesioni difficili a guarire. Il sig. Becquerel ed i sig.ri Curie ebbero a constatarlo a loro spese (57). Secondo il sig. Danysz (58) un tubetto, contenente un corpo fortemente radioattivo e posto sulla pelle di un animale, provoca una distruzione completa dell' epidermide e del derma, mentre l' azione sui tessuti sottostanti è relativamente assai debole. Il sistema nervoso è invece assai sensibile all' azione del radio, così che in breve si producono lesioni capaci di dare la paralisi e la morte. L' effetto prodotto sui bacteri è pure notevole, giacchè, secondo i sig.ri Aschkinass e Caspari (59), per certe specie resta sospeso il loro sviluppo. Le larve di certi insetti muoiono, e l' azione prolungata dei raggi del radio sui semi di certe piante toglie loro la facoltà di germogliare. Sembra poi che, a compenso delle azioni deleterie da essi esercitate, i raggi emessi dai corpi radioattivi possono riuscire utili nella cura di certe malattie, come il cancro ed il lupus (60).

La sensazione di luce che empie il campo visivo allorchè si accosta all'occhio un preparato di radio, non è un effetto fisiologico diretto, ma si spiega colla fluorescenza delle parti costitutive dell'organo visivo. Il fenomeno si produce anche nell'occhio di un cieco, purchè la retina e il nervo ottico siano in condizioni normali.

Infine, secondo il sig. Bloch (61), i raggi del radio agirebbero come la luce sul selenio cristallino aumentandone la conducibilità elettrica.

I corpi radioattivi, od almeno il radio ed il torio, oltre ad emettere i raggi α, β e γ, lasciano sfuggire continuamente parte della loro sostanza sotto altra forma.

Certe esperienze relative alla ionizzazione dell'aria prodotta dai composti di torio condussero il sig. Rutherford a scoprire le *emanazioni* radioattive. Già il sig. Owens (62) aveva notata una strana irregolarità nell'azione ionizzatrice dei raggi dell'ossido di torio; ma fu il Rutherford che ne diede la spiegazione (63) dimostrando, che il torio emette continuamente delle particelle radioattive, la cui azione ionizzatrice si

aggiunge a quella dovuta ai raggi α, β o γ. Il radio produce esso pure la sua *emanazione*, e le particelle costituenti queste emanazioni si distinguono da quelle costituenti i raggi α e β in ciò, che le prime si diffondono lentamente a guisa delle molecole di un gas, anzichè essere lanciate come le seconde con enorme velocità.

Infatti l'emanazione si mescola al gas ambiente e può essere insieme a questo trasportata da un luogo all'altro. E che si comporti come un vero gas è confermato da recenti esperienze del sig. Traubenberg (64), secondo le quali tanto l'emanazione contenuta nelle acque potabili di Friburgo (e in generale le acque di sorgenti contengono tutte qualche sostanza radioattiva), come pure l'emanazione del radio obbediscono alle stesse leggi di Dalton e di Henry, che valgono per i gas.

L'emanazione passa agevolmente per fori o fessure esilissime, attraverso le quali un gas ordinario non potrebbe circolare che con estrema lentezza. Essa è solo temporaneamente radioattiva, e cioè la sua radioattività scema in modo continuo, tanto che in capo ad un minuto primo

l'emanazione del torio ha la propria attività ridotta a metà del valore iniziale, mentre quella del radio perde la sua attività assai più lentamente, riducendosi a metà solo in capo a circa quattro giorni.

I sig.ri Rutherford e Soddy (65) hanno poi dimostrato, che l'emanazione del radio si condensa ad una temperatura di circa 150° sotto lo zero ordinario. Se infatti una corrente di gas, dopo essere passata sopra un composto di radio, arriva in un tubo circondato da aria liquida, il gas esce dal tubo interamente spogliato dalla emanazione, la quale poi ritorna gassosa, se si lascia elevare la temperatura sino al valore suindicato. È facile seguire le vicende della emanazione, perchè essa è luminosa, e rende luminoso il vetro del tubo che la contiene. L'emanazione del torio si condensa ad una temperatura un poco meno bassa.

L'emanazione ha la proprietà di rendere temporaneamente attivi i corpi, coi quali giunge in contatto. Questa radioattività acquistata in tal modo da corpi, che per sè stessi non la pos-

siederebbero, fu a quanto pare osservata la prima volta dai coniugi Curie (66), e ad essa fu dato il nome di radioattività *indotta.* Secondo il sig. Rutherford essa sarebbe dovuta ad una sostanza solida invisibile depositata dalla emanazione sui corpi in quantità inapprezzabile, che può essere sciolta da certi acidi e non da altri. Facendo evaporare la soluzione così ottenuta, si ricava un residuo radioattivo. Sembra inoltre che l'emanazione aderisca come tale ed anche imbeva in certo modo i corpi da essa resi attivi, giacchè questi corpi emettono essi stessi dell'emanazione. Il celluloide, la gomma elastica, la paraffina assorbono e poi restituiscono l'emanazione in notevoli quantità. Indipendentemente da ciò si è riconosciuto, che riscaldando un corpo reso radioattivo per induzione, esso perde in gran parte la propria attività, la quale è acquistata invece dai corpi freddi circostanti.

La carica negativa di un corpo facilita la produzione della sua radioattività indotta. Anzi basta tenere, come fecero i sig.ri Elster e Geitel (67), un conduttore fortemente carico nega-

tivamente, o anche in certi casi positivamente secondo il prof. Sella (68), nell' aria libera per qualche ora onde renderlo radioattivo, ciò che indica l' esistenza nell' atmosfera di una emanazione analoga a quelle emesse dal radio e dal torio.

Si può produrre la radioattività di sostanze per sè stesse inattive anche operando in un' altra maniera, e cioè sciogliendo il corpo inattivo in un liquido insieme ad un corpo attivo, e poi separandolo con mezzi chimici. Si ottiene così del bismuto attivo, dopo averlo sciolto in una soluzione contenente radio. In generale il corpo reso radioattivo in questa maniera perde a poco a poco la sua attività; ed è in tal modo che il polonio è stato considerato da qualcuno come bismuto reso attivo per soluzione. Similmente è radioattivo un sale di bario, se si ricava da una soluzione d' uranio, ed intanto quest' ultimo perde parte della sua radioattività, che poi esso riacquista lentamente.

Un fenomeno analogo a questo, e che sarà richiamato più oltre, è quello descritto dal sig.

Rutherford, e consiste nella separazione chimica del torio in due porzioni, una delle quali assai attiva chiamata torio-X, che col tempo perde poco a poco la sua radioattività, mentre l' altra col tempo riacquista la proprietà perduta.

La continua generazione di calore, come pure l' emissione dei raggi α, non spettano interamente al radio, ma in parte alla emanazione che da esso si svolge. Se con un opportuno riscaldamento di un sale di radio lo si libera per quanto si può della emanazione che può dare, e questa si raccoglie a parte in un tubo raffreddato con aria liquida, quando il tubo col radio ed il tubo coll' emanazione si sono messi in equilibrio di temperatura coll' ambiente si riconosce, che la quantità di calore prodotta nell' unità di tempo dal radio va diminuendo, mentre quella svolta dall' emanazione va crescendo, in modo che la somma delle due conservi un valore sensibilmente costante (69). Se poi per mezzo della ionizzazione di un gas si misura l' emissione di raggi α per parte del radio e per parte dell' emanazione, si riconosce un andamento in tutto si-

mile a quello dell'emissione di calore. Ciò induce a supporre (70), che il calore svolto dal radio sia dovuto agli urti dei ioni positivi (raggi α) contro le molecole d'aria o contro quelle della stessa sostanza radioattiva. La velocità trovata pei raggi α, che può arrivare ad $1/_{10}$ di quella della luce, è tale da soddisfare a tale ipotesi; ma in ogni modo resta ancora inesplicata l'origine dell'energia di cui il radio sembra essere una inesauribile sorgente.

È probabile, che la radioattività sia una proprietà posseduta in grado diverso da tutti i corpi. Infatti risulta da recenti esperienze, che un elettroscopio elettrizzato, per esempio quello della fig. 10, si scarica con differente rapidità a seconda della natura delle pareti del recipiente in cui è racchiuso (71), ciò che si attribuisce alla radioattività delle pareti stesse. Sembra inoltre, che radiazioni penetrantissime, provenienti forse dall'atmosfera o dai corpi circostanti, esistano continuamente intorno a noi, producendo una lieve ionizzazione dei gas, giacchè la rapidità di scarica suddetta si rende minore, circondando l'ap-

parecchio con un grosso involucro di piombo (72). Si potrebbe anzi sospettare, che la lieve radioattività dei corpi usuali fosse, in parte almeno, una emissione di raggi sccondari eccitata da quelle supposte radiazioni ognora esistenti.

Ha una speciale importanza il fatto, che l'aria abbia una conduttività elettrica superiore a quella ordinaria, se viene tratta per aspirazione dal terreno. Siccome oltre a ciò si è riconosciuto, che molte acque di pozzo o di sorgente, per esempio l' acqua potabile di Cambridge (73), contengono un gas radioattivo, che si mescola all' aria che in esse si faccia gorgogliare, rendendola alquanto conduttrice, così si è indotti a supporre con i sig.ri Elster e Geitel (74), che nel terreno vegetale esista in piccola quantità una sostanza radioattiva, che può essere il radio, la cui emanazione è trasportata nell' aria racchiusa nel terreno stesso, e che in piccola parte si scioglie nelle acque delle sorgenti. Il sig. Allen (75), che ha riconosciuto la radioattività della sorgente King 's Bath, mette avanti un' idea degna di essere presa in considerazione, e cioè

che forse l'azione terapeutica delle acque minerali in genere potrebbe essere in parte almeno dovuta ad una emanazione o ad un gas radioattivo in esse contenuto, con che si renderebbe conto facilmente del fatto, spesso asserito se non ineccepibilmente dimostrato, che le acque col trasporto divengono meno efficaci.

La presenza di emanazioni radioattive nelle sorgenti di anidride carbonica e di certe acque termali, e la radioattività relativamente notevole presentata dal fango depositato da queste, fanno poi supporre, che la proporzione di radio o di altra sostanza molto radioattiva, contenuta nella crosta terrestre, aumenti insieme colla profondità (76). Perciò l'istituire ricerche intorno ai prodotti vulcanici sarebbe cosa molto opportuna.

La neve di recente caduta è radioattiva; chi scrive ha avuto occasione di constatare, che in una giornata di neve la conduttività dell'aria era più che doppia del consueto.

Tutto quanto si è esposto nel presente Capitolo costituisce un poderoso insieme di fatti, in buona parte constatati con assoluta certezza, ma

che da un momento all' altro qualche nuova scoperta potrebbe mostrarci sotto un aspetto diverso da quello col quale oggi ci si presentano. Sarebbe perciò prematuro formulare oggi una teoria della radioattività, se la natura di questo fenomeno non fosse resa con tanta evidenza manifesta dalle proprietà riconosciute ai raggi emessi ed all' emanazione. Non si può infatti dubitare, che un corpo radioattivo emetta continuamente parte della materia che lo costituisce, e che debba quindi avere una limitata esistenza; e la teoria degli elettroni, completata nel modo che sarà esposto nell' ultimo Capitolo, e secondo la quale gli atomi sono sistemi di elettroni, sembra fatta espressamente per darne ragione. Ma una teoria della radioattività deve spiegare anche l' origine dell' energia, che durante la disaggregazione dei corpi radioattivi è resa disponibile.

Si è da alcuni pensato, che questa energia provenga da una incognita radiazione attraversante ovunque e continuamente lo spazio. Questa radiazione imprimerebbe alle parti costituenti gli

atomi di certi corpi velocità enormi, e tali da separarle. Se una tale radiazione realmente esistesse, dovrebbe verosimilmente essere assorbita dai corpi radioattivi in modo, che un involucro da questi formato dovrebbe rendere minore la radioattività di un corpo in esso contenuto. Non si è mai pensato forse ad un' esperienza di questo genere ed in questi precisi termini; ma i sig.ri Elster e Geitel (77) hanno riconosciuto, che la radioattività di un dato corpo non scema, se lo si porta sotterra, per esempio in una miniera, in modo che uno strato di ben ottocento metri di crosta terrestre ad esso sovraincomba; ed è poco verosimile che quello strato non debba assorbire in modo sensibile le supposte radiazioni attraversanti lo spazio.

Sembra quindi da preferirsi l'ipotesi, secondo la quale l'energia dei corpi radioattivi ha un origine analoga a quella dell'energia termica fornita dalle combinazioni chimiche, colla differenza che, mentre in questo caso si tratta di atomi, che presi allo stato libero o uscenti da altre combinazioni si uniscono per formare nuove

molecole, nel caso dei corpi radioattivi si tratta invece di elettroni provenienti da atomi instabili, che si uniscono per formare atomi nuovi più duraturi. Certe esperienze, e specialmente quelle del sig. Rutherford e dei suoi collaboratori, rendono sommamente verosimili queste modificazioni o trasformazioni atomiche, e conducono a considerare i fenomeni di radioattività nella maniera seguente (78).

Gli atomi dei corpi radioattivi sono sistemi di elettroni instabili. Qualcuno di quegli atomi di tanto in tanto si divide in più porzioni, cioè in elettroni negativi liberi e in gruppi di elettroni con prevalenza positiva, ossia ioni positivi. I primi costituiscono i raggi β e gli altri i raggi α. L'emanazione, è probabilmente costituita dagli stessi ioni positivi o da modificazioni di essi. Se solo una parte degli atomi disaggregati è irradiata all'intorno, la parte rimanente costituirà un nuovo corpo, che potrà essere esso pure radioattivo; e se lo sarà, i suoi atomi saranno esposti ad ulteriori frazionamenti. Altrettanto può dirsi dei nuovi atomi costituenti l'emana-

zione, come pure della sostanza che questa deposita sui corpi inerti rendendoli temporaneamente attivi (attività indotta). Le trasformazioni atomiche cesseranno di prodursi solo allorquando gli elettroni costituiscano atomi stabili, e quindi una sostanza non radioattiva.

Si consideri per esempio l' uranio. Da questa sostanza, il sig. Crookes (79) ed il sig. Becquerel (80) separarono una parte attiva da una che non lo era. La prima, che il sig. Rutherford chiama uranio-X, perde col tempo la sua attività, mentre l' altra lentamente l' acquista. L' uranio non attivo si trasforma dunque poco a poco in uranio-X, e la trasformazione è accompagnata dalla radiazione. In pari tempo l' uranio-X si trasforma in una sostanza sconosciuta.

Similmente accade nel caso del torio, se non che qui, oltre ad una trasformazione di torio inattivo in torio-X, accompagnata dall' emissione dei soliti raggi, si ha in più la produzione di una emanazione, come risultato di una ulteriore scissione degli atomi costituenti il torio X. L' emanazione è essa pure radioattiva, e cioè atta a

trasformarsi in altre sostanze, fra cui quella che aderendo ai corpi vicini è causa della radioattività indotta. Anche pel torio s'ignora qual sia la condizione atomica finale e stabile.

Le trasformazioni successive dell'atomo del radio sono analoghe a quelle del torio, salvo che non esiste a quanto pare un radio-X. Si ha dunque scissura degli atomi di radio e formazione di emanazione, o forse meglio di emanazioni, in quanto che sembra che fra il radio e l'emanazione condensabile esistano stadî di trasformazione intermedi, essendo poi quelle trasformazioni contemporanee all'emissione dei raggi α, β, γ. L'emanazione è essa stessa radioattiva, e trasformandosi dà luogo alla sostanza producente la radioattività indotta, cioè ad una sostanza temporaneamente radioattiva e quindi in istato di ulteriore trasformazione. Non si può dire nè pel radio nè per gli altri corpi radioattivi quali altri stadî successivi di aggregazione siano possibili, prima che venga raggiunto un assetto stabile; ma questa sostanza finale non radioattiva può dirsi ormai nota nel caso del radio. Si è

infatti riconosciuto (81), che col tempo l'emanazione del radio imprigionata in un tubo si modifica; il suo spettro muta di aspetto lentamente, e finisce col presentare le righe caratteristiche dell' *elio*. Questo gas, scoperto da poco tempo nella nostra atmosfera ed in alcuni minerali, è uno di quelli le cui righe si riscontrano nello spettro della luce del sole, da cui trasse il suo nome. I minerali, nei quali fu rinvenuto, sono in generale quelli stessi dai quali si ricava il radio, ciò che resta naturalmente spiegato da quanto si è ora esposto.

Un' esperienza recentissima dei sig[ri] Curie e Dewar (82) sembra mettere fuori di dubbio la trasformazione dell' emanazione del radio in elio. Circa 4 decigrammi di bromuro di radio puro e secco restò per tre mesi entro un' ampoletta comunicante con un tubo di Geissler, cioè con un tubo munito di due elettrodi saldati attraverso il vetro, mediante i quali si può rendere luminoso colle scariche elettriche il gas in esso contenuto. Dapprima si fece un buon vuoto in questi recipienti, e si riconobbe, che dal corpo

radioattivo si svolgeva continuamente un gas, in ragione di un centimetro cubo (alla pressione ordinaria) ogni mese. Facendo passare le scariche nel tubo ed esaminando lo spettro della luce in tal modo prodotta, si videro le righe dell'idrogeno e quelle del mercurio, quest'ultimo proveniente dalla pompa con cui si faceva il vuoto. Fin qui non era apparsa dunque nessuna traccia di elio.

Lo stesso bromuro di radio fu poi posto in un tubo di quarzo, e riscaldato sino a fusione del sale, mentre si produceva una aspirazione attraverso un tubo raffreddato nell'aria liquida. Si raccolsero così circa 2, 6 centimetri cubi di gas, che era luminoso per l'emanazione che conteneva. Trasportato in un tubo di Geissler questo gas non mostrò che lo spettro dell'azoto, anche dopo avere cercato d'eliminare questo gas per mezzo della condensazione provocata raffreddandolo con idrogeno liquido. A questo punto il tubo di quarzo contenente il sale di radio venne chiuso ermeticamente, mentre vi si faceva il vuoto. Venti giorni più tardi, reso luminoso il

gas contenuto nel tubo, mediante elettrodi esterni di stagnola, lo spettroscopio mostrò nettamente l'intero spettro dell'elio.

Sembra difficile dopo ciò mettere in dubbio, che l'elio si formi in seguito alle trasformazioni radioattive del radio. Tuttavia occorreranno molte altre prove di questo genere prima che si possa considerare come cosa dimostrata la trasformazione degli atomi chimici, e cioè prima che venga abbandonata l'idea, che col tempo si è così profondamente radicata in noi, dell'assoluta invariabilità degli atomi.

Cap. VI.

Massa, velocità e carica elettrica dei ioni e degli elettroni.

È giunto il momento di dare qualche idea dei metodi, coi quali si è potuto misurare il rapporto fra la carica elettrica e la massa degli elettroni o dei ioni, come pure i valori separati di queste due quantità, nonchè la velocità colla quale si muovono nei varî casi. Tali metodi sono principalmente basati sopra gli effetti prodotti dal campo elettrico e dal campo magnetico, separatamente od insieme, sulle particelle elettrizzate in movimento, oppure sul calore sviluppato dalle particelle stesse col loro urto contro un ostacolo, o infine sulla proprietà che esse possiedono di servire come nuclei alla conden-

sazione dei vapori. Senza entrare nei dettagli delle esperienze e dei relativi calcoli, esaminiamo questi diversi fenomeni.

Consideriamo dapprima l'effetto che produce un campo magnetico sui raggi catodici, supponendo che un fascio sottile di questi raggi, che va a render luminosa la parete opposta al catodo, abbia direzione perpendicolare a quella della forza magnetica. Per esempio il tubo, entro cui si generano i raggi catodici, sia posto fra i poli di una calamita. Gli elettroni in moto, costituenti i raggi catodici, devieranno dal loro cammino rettilineo, ed i raggi stessi assumeranno la forma di archi di cerchio. Infatti, il campo magnetico produce una forza elettromagnetica applicata all'elettrone in moto, diretta come quella che produrrebbe sopra una corrente elettrica coincidente colla sua traiettoria. Tale forza è dunque perpendicolare in pari tempo e alla traettoria e alla forza magnetica; essa non influisce sulla velocità dell'elettrone, ma solo sulla direzione del suo movimento, e questo è circolare ed uniforme. La forza elettromagnetica sarà

allora uguale e contraria alla forza centrifuga del detto moto circolare. Ora la forza centrifuga dipende in modo semplice e conosciuto dalla massa, dalla velocità e dal raggio della traiettoria; e d'altra parte la forza elettromagnetica è proporzionale alla carica dell'elettrone e alla sua velocità, giacchè il prodotto di questi due fattori sta a rappresentare l'intensità della corrente elettrica equivalente. Si arriva dunque ad una relazione semplice fra le seguenti quantità: 1.° carica e massa dell'elettrone, o, più esattamente, rapporto fra l'una e l'altra; 2.° velocità dell'elettrone; 3.° intensità del campo magnetico; 4.° raggio dell'arco di cerchio percorso (*). Le due ultime si misurano, e basterebbe conoscere una delle altre per essere in grado di calcolare quella rimanente.

(*) Dicendo e la carica di ogni particella, m la sua massa V, la sua velocità, H l'intensità del campo magnetico, ρ il raggio della traiettoria, la relazione che esiste fra queste quantità è:

$$V = H \rho \frac{e}{m}.$$

Se si suppone, come appunto fu fatto sulle prime, che la velocità dell' elettrone nei raggi catodici sia dell' ordine di grandezza delle velocità molecolari dei gas, si trova per il rapporto fra carica e massa un valore di grandezza simile a quello, che spetta ai ioni dell' elettrolisi. Si sarebbe così indotti a supporre, che la massa degli elettroni sia dell' ordine di grandezza di quelle degli atomi materiali. Per fortuna si comprese presto, che la premessa non era esatta, e si cercò di arrivare alla determinazione simultanea delle due prime quantità precedenti, ricorrendo, oltre che alla deviazione magnetica dei raggi catodici, ad altri effetti o ad altre considerazioni. Per es. si può ammettere, che la velocità dell' elettrone abbia quel valore, per il quale la sua energia cinetica equivalga al lavoro elettrico relativo al passaggio della carica dell' elettrone dal potenziale del catodo a quello dell' anodo. Un metodo simile è stato da non molto adoperato dai Sig.ri Kaufmann (83) e Simon (84).

Il Sig.r J. J. Thomson (85) determinò invece la velocità degli elettroni misurando la carica ne-

gativa da essi abbandonata entrando, dopo aver subìto la deviazione per opera del campo magnetico, in un conduttore cavo comunicante con un elettrometro, e misurando in pari tempo l'energia da essi trasportata, per mezzo di una coppia termoelettrica da essi colpita. Alla relazione fra le quantità prima enumerate, se ne aggiungono così due altre (*). Una di esse esprime, che la carica elettrica trasportata al conduttore (e questa è nota dalla misura che se ne fa) è uguale al numero di elettroni moltiplicato per la carica costante di ciascuno; l'altra esprime, che l'energia trasportata e trasformata per urto in calore (e misurata per mezzo della coppia termoelettrica) è uguale al numero di elettroni moltiplicato per l'energia cinetica di ciascuno, la quale non è che la metà del prodotto della massa per il quadrato della velocità.

(*) Ecco quelle due relazioni:

$$Q = Ne, \quad \frac{1}{2} m V^2 . N = W,$$

ove Q è la quantità totale di elettricità trasportata, N il numero di elettroni, W l'energia cinetica dei medesimi.

Alle due incognite, che si avevano prima, se ne è così aggiunta una nuova, che è il numero di elettroni che si sono mossi nella durata dell'esperienza; ma le relazioni, da una che erano, sono ora tre; per cui, eliminato il suddetto numero di elettroni, resta possibile calcolare tanto il rapporto fra carica e massa di ciascuno, quanto la velocità (*).

Con questo metodo si ebbero i primi risultati attendibili. Per il rapporto fra carica e massa degli elettroni si ottennero numeri pochissimo differenti fra loro cambiando il gas rarefatto, in cui si producevano i raggi catodici (aria, idrogeno, anidride carbonica). In ogni caso il valore trovato indicava chiaramente, che se ogni elettrone rappresenta una carica elettrica uguale a quella di un ione elettrolitico, la sua massa è invece di gran lunga minore di quella di un

(*) L'eliminazione di N fra le tre equazioni conduce alle due seguenti:

$$V = \frac{2\,W}{QH\rho}, \quad \frac{e}{m} = \frac{2\,W}{QH^2\rho^2},$$

che servono a calcolare V ed $\frac{e}{m}$.

ione di idrogeno. Quanto ai valori trovati per la velocità degli elettroni, questa fu di gran lunga più grande delle velocità molecolari dei gas, e precisamente intorno ad un decimo della velocità della luce.

Allo stesso Thomson (86) si deve un altro metodo per la determinazione della velocità degli elettroni nei raggi catodici, basato sulla deviazione prodotta da un campo elettrico.

Se i raggi catodici partenti dal catodo *C* (fig. 14), e ridotti ad un sottile fascio dai due

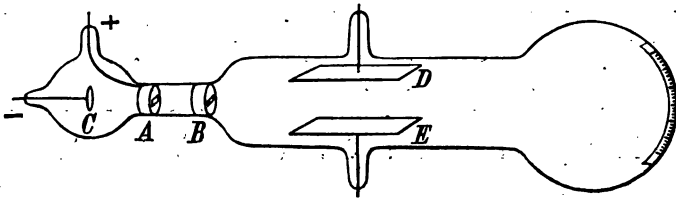



Fig. 14

grossi diaframmi metallici *A*, *B*, comunicanti col suolo e muniti di strette fenditure orizzontali, passano fra due lastre metalliche *D*, *E*, oppostamente cariche, essi dovranno deviare dal loro cammino rettilineo, giacchè gli elettroni negativi che li costituiscono saranno attratti dalla

lastra positiva e respinti dall'altra. Questa deviazione, già preveduta, non era stata ottenuta da Hertz, e neppure l'ottenne sulle prime il Thomson, in causa della conducibilità, che assume il gas rarefatto attraversato dai raggi catodici, per la quale non è possibile mantenere fra le due lastre una sufficiente differenza di potenziale. Ma basta spingere all'estremo la rarefazione del gas per ottenere l'effetto, e vedere così spostarsi la macchia luminosa dovuta alla fosforescenza eccitata dai raggi catodici sulla parete di fondo del tubo. Se per esempio la lastra *E* è positiva e la *D* negativa, la regione illuminata si abbassa, ciò che dimostra che la traettoria degli elettroni si è incurvata all'ingiù.

Invero per effetto della forza elettrica, che si potrà supporre costante fra le due lastre se sono abbastanza grandi e vicine, ogni elettrone descriverà una parabola, e i raggi catodici assumeranno così la forma stessa che presenta, per effetto della gravità, un getto d'acqua uscente da un tubo orizzontale.

Nel caso della gravità la forza è proporzio-

nale alla massa del corpo che si muove, e l'accelerazione è indipendente da essa. Qui invece la forza che agisce sopra un elettrone, e quindi anche l'accelerazione che essa produce, è proporzionale alla carica elettrica; e siccome a parità di carica, e quindi a parità di forza elettrica, l'accelerazione è in ragione inversa della massa, così può dirsi che l'accelerazione stessa, da cui dipende poi in modo conosciuto la parabola descritta, è proporzionale al rapporto fra la carica e la massa dell'elettrone. Come nel caso della deviazione magnetica, anche in questo della deviazione elettrica si ha una relazione, nella quale entra il solito rapporto e la velocità iniziale dell'elettrone. Se quindi si fanno agire simultaneamente il campo elettrico ed il campo magnetico, le cui linee di forza dovranno supporsi perpendicolari in pari tempo alle linee di forza elettrica ed alla direzione dei raggi, si avrà modo di calcolare tanto il rapporto fra carica e massa di ogni elettrone, quanto la velocità di esso. Si potrà anzi fare in modo, che gli effetti dovuti ai due campi si compensino. Allora dalla mi-

sura della deviazione prodotta quando uno solo di essi agisce, e dall'intensità di ciascuno, si deducono le due quantità cercate (*). Ottenne così il Thomson velocità di quasi un decimo di quella della luce, ed un valore per il rapporto fra carica e massa di un elettrone concordante con quello trovato coll' altro metodo.

Misure analoghe furono fatte dal Sig.r H. A. Wilson (87), il quale, adoperando successivamente catodi di diversi metalli, constatò come dalla natura di essi non dipendessero affatto i risultati ottenuti.

Il metodo di Thomson fu quasi nel medesimo tempo messo in opera anche dal Sig.r Lenard (88) il quale operò sui raggi portanti il suo nome, cioè sui raggi catodici fatti uscire dal tubo, in cui si producono, attraverso una sottile foglia di alluminio.

(*) Dicendo θ la deviazione prodotta separatamente sia dal campo elettrico che da quello magnetico, l la lunghezza del tragitto, durante il quale l' elettrone è esposto alle cause deviatrici, F l' intensità del campo elettrico, si ha:

$$V = \frac{F}{H}, \quad \frac{e}{m} = \frac{F\theta}{H^2 l}.$$

Lo stesso fisico (89) applicò pure un nuovo metodo, nel quale si fa agire sugli elettroni un campo elettrico parallelo alla direzione del loro moto. A questo scopo i raggi di Lenard generati dal catodo *C* (fig. 15), escono da un foro *A* chiuso

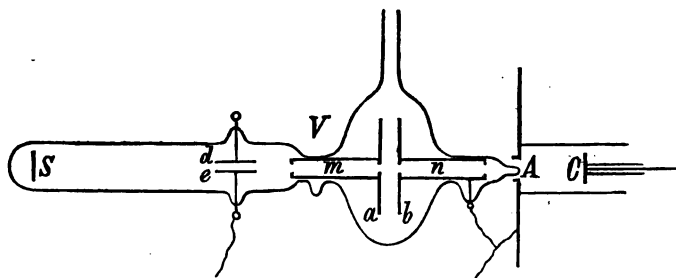



Fig. 15.

da una foglia di alluminio e penetrano nell' apparecchio *V*, contenente un gas estremamente rarefatto. In questo apparecchio trovasi un condensatore formato da due dischi metallici paralleli *a*, *b*, aventi nel centro un piccolo foro, per il quale passano i raggi provenienti da *A* e che si dirigono al diaframma fosforescente *S*. Due tubi metallici *m*, *n*, difendono i raggi dalle azioni elettriche provenienti dal disco *a*, che può essere isolato ed elettrizzato mentre *b* è sempre in comunicazione col suolo. È quindi solo nel per-

corso fra *a* e *b* che gli elettroni sono esposti ad una forza elettrica, che ne aumenta o ne dimi-nuisce la velocità, secondo che al disco *a* si dà carica positiva o negativa. Gli stessi raggi sono peraltro più innanzi deviati, come nel metodo precedente, da un campo magnetico oppure da un campo elettrico trasversale generato dai di-schi paralleli *d*, *e*, e viene misurata la deviazione prodotta.

Come si poteva prevedere, a parità di campo elettrico fra *d* ed *e* la deviazione è diversa se-condo il segno della carica di *a*, giacchè da que-sto dipende la velocità, colla quale gli elettroni arrivano nel campo che li fa deviare. Misurando questa deviazione e l'intensità dei due campi, si può calcolare il solito rapporto; e più oltre verrà dato il valore ottenuto dal Lenard con questo metodo.

Citerò un ultimo metodo ingegnosissimo, ma un poco complicato, messo in pratica dal Sig.r Wiechert (90) per misurare direttamente e con precisione la velocità dei raggi catodici. Aggiun-gendovi la deviazione magnetica, egli potè cal-

colare anche il rapporto fra carica e massa dell'elettrone.

Ma non è solo sugli elettroni dei raggi catodici, che si eseguirono le misure destinate a determinare le loro costanti caratteristiche; altre furono fatte e sugli elettroni negativi emessi dai metalli colpiti dai raggi ultravioletti, e su quelli emessi dai corpi incandescenti o dai corpi radioattivi.

Così il Sig.r J. J. Thomson (91) ricorse ad un metodo sperimentale, che gli permetteva di far agire un campo magnetico sopra gli elettroni emessi da un metallo illuminato. Con una disposizione sperimentale quasi identica, chi scrive (92) aveva già constatato per primo, che un campo magnetico rendeva minore il trasporto dell'elettricità negativa dal corpo che riceve i raggi ultravioletti ai corpi vicini; il Sig.r Thomson interpretò questo fatto colla nuova teoria, e se ne valse nel modo seguente.

Un piccolo disco di zinco *AB* (fig. 16) portato da un'asticella metallica *L* e caricato negativamente trovasi in un recipiente, nel quale l'aria fu assai rarefatta, e può essere più o meno avvicinato

ad una reticella metallica *CD* ad esso parallela e comunicante con un elettrometro. Il recipiente è chiuso da un disco di quarzo *EF*, affinchè le più rifrangibili radiazioni ultraviolette, generate da un flusso di scintille che scoccano tra fili di zinco, non siano assorbite, prima che arrivino al disco elettrizzato. Se, dopo aver constatato che l'elettrometro si scarica quando agiscono le radiazioni, anche se il disco *AB* è alquanto lontano dalla reticella, si fa agire un campo magnetico, le cui linee di forza siano parallele al disco e alla reticella, si verifica, che al di là di una certa distanza fra disco e reticella il fenomeno del trasporto di elettricità negativa da *AB* a *CD* cessa quasi completamente.

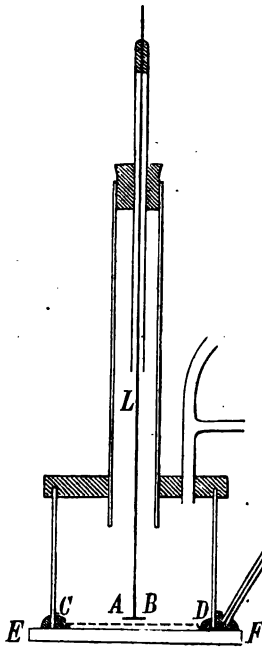



Fig. 16.

Ecco qual' è il meccanismo cui questo fenomeno è dovuto.

Quando non esiste il campo magnetico gli elettroni negativi, che le radiazioni espellono dal disco di zinco AB (fig. 17), si muovono diret-

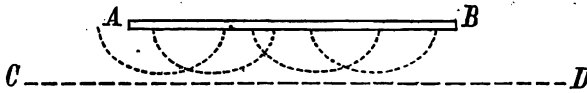



Fig. 17.

tamente da AB verso CD; ma se agisce un campo magnetico perpendicolare al piano della figura, ogni elettrone percorre una curva, che si dimostra essere una cicloide, di modo che, raggiunta una certa distanza dal disco, l' elettrone ritorna sul disco medesimo, senza poter raggiungere la reticella, se questa è troppo lontana (*).

(*) Prendendo l' asse delle x nella direzione perpendicolare al disco ed alla reticella, l' asse delle y perpendicolare a quello e alla direzione del campo magnetico, le equazioni del moto sono:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = Fe - He \frac{dy}{dt}, \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = He \frac{dx}{dt}.$$

Supposti nulli i valori iniziali di $x, y, \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}$,

Nella figura sono disegnate in linee punteggiate alcune delle traiettorie percorse dagli elettroni.

La massima distanza raggiunta dall' elettrone dipende in una maniera conosciuta dall' intensità del campo elettrico fra disco e reticella, dalla intensità del campo magnetico, e dal rapporto fra carica e massa dell' elettrone. Perciò misurando le due prime quantità, come pure, mediante gli spostamenti del disco di zinco, la distanza massima fra disco e reticella, al di là della quale quest' ultima non riceve più carica sensibile, si ha modo di determinare il predetto rapporto. L'esattezza della determinazione è limitata dalla circostanza, che gli elettroni non partono tutti

---

la soluzione di queste equazioni dà, ponendo per semplicità

$$a = \frac{Fm}{H^2 e}, \quad b = H\frac{e}{m}:$$

$$x = a\,(1 - \cos bt), \; y = a\,(bt - \operatorname{sen} bt).$$

Il raggio del cerchio generatore della cicloide è a, e quindi la massima distanza dal disco di zinco che può raggiungere un elettrone è:

$$\frac{2Fm}{H^2 e}.$$

con egual velocità dal disco, per cui la distanza massima da questo, alla quale essi pervengono, non è per tutti la stessa.

Un metodo simile fu applicato dallo stesso Thomson (93) agli elettroni emessi da un metallo incandescente.

Il Lenard (94) misurò dal canto suo il solito rapporto ricorrendo all' azione dei raggi ultravioletti sui metalli nel vuoto; infine il Sig.r Becquerel (95) ed altri determinarono le solite costanti per gli elettroni emessi dai corpi radioattivi. Senza entrare pel momento nei dettagli di queste ultime determinazioni, e d' altre che diedero analoghi risultati, giova raccogliere in un quadro i principali valori del rapporto fra carica e massa di un elettrone, onde confrontarli fra loro.

Sorgente di elettroni	Sperimentatore	Data	Metodo adoperato	Rapporto fra carica e massa
Raggi catodici	J. J. Thomson	1897	Deviazione elettrica e deviazione magnetica.	231.10[15] (*)
»	» »	»	Deviazione magnetica, carica trasportata e calore svolto.	351 »
»	Kaufmann	1897-8	Deviazione magnetica e differenza di potenziale.	558 »
Raggi Lenard	Lenard	1898	Deviazione elettrica e deviazione magnetica.	191.7 »
»	» »	»	Deviazione e campo elettrico.	204 »
Raggi catodici	Simon	1899	Deviazione magnetica e differenza di potenziale.	559.5 »
»	Wiechert	»	Deviazione magnetica e velocità.	303 » 465 »
Raggi ultravioletti	J. J. Thomson	»	Diminuzione della scarica per azione del campo magn.°	228 »
Metallo rovente	» »	»	» » »	261 »
Raggi ultravioletti	Lenard	1900	Deviazione magnetica e campo elettrico.	345 »
Raggi β del radio	Becquerel	»	Deviazione elettrica e deviazione magnetica.	circa 300 »

(*) 231.10^{15} significa quel numero che si scrive aggiungendo 15 zeri alla destra del 231, cioè il numero 231 000 000 000 000 000. L'unità di misura qui adottata per la carica è l'unità elettrostatica, e cioè la quantità di elettricità che respinge una quantità eguale posta ad un centimetro di distanza colla forza uno, cioè una dine.

Se si tien conto della grande varietà dei fenomeni, nei quali si manifestano gli elettroni negativi, e della diversità di metodi adoperati nella misura del rapporto fra la carica e la massa di ciascuno, l' accordo fra i risultati è notevole. Sull' ordine di grandezza di quel rapporto non può rimanere dunque nessun dubbio, giacchè esso risulta da 663 a 1937 volte maggiore dell' analogo rapporto per il ione d' idrogeno nell' elettrolisi, rapporto che è uguale a $0{,}289 . 10^{15}$, ed ancora molto più grande di quello relativo ai ioni d' altri corpi. Le particelle costituenti i raggi catodici, e i raggi β dei corpi radioattivi, non possono dunque essere atomi, ma debbono essere particelle di massa di gran lunga minore. *Ed è così, che nel modo più sicuro e con metodi puramente fisici è stata dimostrata l' esistenza di masse di gran lunga più piccole di quella del più piccolo degli atomi delle sostanze conosciute.*

La differenza tra i valori trovati dai varî sperimentatori per il rapporto fra carica e massa degli elettroni non dipende solo da errori di misura, giacchè esperienze assai precise fatte dal

Sig. Kaufmann (96) hanno dimostrato, che quel rapporto varia colla velocità degli elettroni, divenendo rapidamente minore quando quella velocità molto si avvicina alla velocità della luce. Quel fisico fece agire, sui raggi β emessi da un sale di radio, un campo magnetico ed un campo elettrico, aventi una stessa direzione perpendicolare a quella dei detti raggi. Questi deviavano per azione della forza magnetica in una certa direzione, e per azione della forza elettrica in una direzione perpendicolare alla precedente; dimodochè questa disposizione sperimentale somiglia a quella ben nota dei due prismi incrociati, nella quale i due prismi imprimono appunto ai raggi luminosi due deviazioni successive ad angolo retto fra di loro. Come in questa esperienza ogni raggio colorato separato dalla luce bianca per opera del primo prisma, subisce una nuova deviazione per opera del secondo, e tutte queste deviazioni possono separatamente misurarsi, così nelle esperienze di Kaufmann si possono misurare le deviazioni subite da ciascuno di quei raggi β, che differiscono gli uni dagli altri per i

diversi valori delle velocità degli elettroni che li costituiscono.

Con un tal metodo trovò il Kaufmann certi valori per il rapporto fra carica e massa degli elettroni, abbastanza prossimi a quelli ottenuti dagli altri sperimentatori, finchè si trattava di elettroni dotati di velocità relativamente moderate, ossia di elettroni costituenti raggi β poco penetranti, mentre trovò pei raggi assai penetranti valori più piccoli; anzi il detto rapporto si ridusse circa a metà del consueto valore, per elettroni la cui velocità era circa nove decimi della velocità della luce.

E poichè tutto fa credere, che la carica elettrica sia per tutti gli elettroni sempre la stessa, così bisogna ritenere, che la loro massa non sia costante, ma cresca rapidamente colla loro velocità, quando questa si avvicina ad essere eguale alla velocità della luce. Questo risultato ha una grande importanza, poichè esso è conforme alla supposizione, secondo la quale gli elettroni non hanno massa materiale, nel senso ordinario della parola, ma solo una massa apparente dovuta

alla loro natura di cariche elettriche in movimento. Ma su questo concetto si tornerà nell' ultimo Capitolo.

Misure simili a quelle istituite sugli elettroni negativi furono fatte dal Sig. Wien (97) e dal Thomson (98) sui ioni positivi, costituenti i raggi canali. Il primo ottenne come risultato una velocità di 3600 chilometri, ed il valore $0,009.10^{15}$ per il solito rapporto; il secondo $0,012.10^{15}$ per questo stesso rapporto. E così è indubitato, che le particelle positive dei raggi-canali non sono elettroni, ma atomi e forse grossi gruppi atomici elettrizzati.

La precedente conclusione relativa alla piccola massa degli elettroni è basata sull' ipotesi, che la carica elettrica dei ioni nei gas sia eguale a quella che è annessa ad ogni ione (o meglio ad ogni valenza di un ione) nell' elettrolisi. Ora questa, più che ipotesi, può dirsi oramai cosa provata. Infatti, lo studio della diffusione dei ioni nei gas (99) ha condotto a questa conclusione importante, che la carica elettrica di ogni ione è sensibilmente uguale a quella che hanno i ioni

nella elettrolisi. Ma prima ancora che si giungesse a questo risultato, la carica di ogni ione in un gas era stata direttamente misurata dal Sig.' Thomson (100) con un metodo veramente geniale, di cui cercheremo di dar qui un' idea.

Quando dell' aria satura di vapor d' acqua bruscamente si espande, una parte del vapore in essa contenuto si condensa in nebbia, in causa del raffreddamento che accompagna l' espansione, ed ogni gocciolina ha generalmente come nucleo una particella di quel pulviscolo, che d' ordinario l' atmosfera contiene. Sembra infatti, che la condensazione del vapore richieda la presenza di corpi piccolissimi, e che essa cominci a prodursi appunto sulla loro superficie, il cui raggio di curvatura è certamente assai piccolo; per lo meno la presenza di quei corpuscoli anticipa e favorisce la liquefazione del vapore. Se infatti il pulviscolo viene con gran cura eliminato, perchè la nebbia si formi occorre un' espansione dell' aria umida alquanto maggiore di quella, che prima bastava.

Orbene il Sig. C. T. R. Wilson dimostrò (101),

che un gas contenente ioni si comporta come l'aria carica di pulviscolo, poichè i ioni medesimi funzionano come nuclei o centri di condensazione del vapore. Ed invero un' espansione dell'aria, che sia troppo piccola perchè la nebbia si produca, può essere invece sufficiente a far precipitare il vapore, quando l'aria stessa sia ionizzata, per esempio col farla attraversare dai raggi di Röntgen.

Che il mutato comportamento del gas si debba proprio alla presenza dei ioni, viene confermato dal fatto che, eliminando i ioni col far passare nel gas la corrente elettrica, la formazione della nebbia rimane nuovamente ritardata, ossia richiede di nuovo una maggior espansione.

L'apparecchio adoperato dal Thomson è alquanto complicato; ma la sua parte essenziale è un recipiente, che contiene aria umida, ed in cui si trovano due conduttori orizzontali l'uno sull'altro. Il superiore, che può servire di chiusura al recipiente, è generalmente costituito da un disco di sottile alluminio, ed è tenuto in comunicazione col suolo; l'inferiore, il quale può essere

costituito dalla massa d' acqua che mantiene satura d' umidità l' aria sovrastante, è in comunicazione con un elettrometro. Al momento opportuno si deve ionizzare l' aria, il che si ottiene facendo entrare nel recipiente attraverso la lamina di alluminio, sia raggi X, sia i raggi emessi da un corpo radioattivo.

Si potranno anche introdurre nel recipiente dei ioni dando al conduttore inferiore una carica negativa, e facendo cadere sulla sua superficie dei raggi ultravioletti. In tal caso il disco di alluminio è sostituito da una reticella metallica, il recipiente è chiuso da una lastra di quarzo, e come conduttore inferiore s' impiega un disco metallico, per esempio di zinco.

In una prima fase dell' esperienza si misura la quantità di elettricità, che passa nell' unità di tempo da un conduttore all' altro, ossia l' intensità della corrente che attraversa l' aria ionizzata. Essa si trova moltiplicando la diminuzione di potenziale nell' unità di tempo, dedotta dalla diminuzione della deviazione elettrometrica, per la capacità del sistema formato dal conduttore

inferiore insieme all' elettrometro. Ma d' altra parte quella corrente è dovuta al movimento dei ioni sotto l' azione del campo elettrico esistente fra i due dischi, e supposto noto questo campo, come pure il numero di ioni esistenti nell' unità di volume, la carica di ciascuno, e la velocità con cui si trasportano da un disco all' altro, quella intensità di corrente si potrebbe calcolare in base a questi elementi. Eguagliando i due valori si avrà un' equazione contenente, oltre i dati numerici risultanti direttamente dalle misure, il numero di ioni, la carica e la velocità di essi (*).

(*) Dicendo E l' intensità del campo fra i due dischi, N il numero dei ioni per centimetro cubo, V la velocità dei ioni in un campo d' intensità uno, e la carica di ognuno, A la superficie dei dischi, si ha evidentemente l' espressione

$$N\,V\,E\,e\,A$$

per l' intensità della corrente da un disco all' altro; e se C è la capacità del disco isolato, P la diminuzione del suo potenziale nell' unità di tempo, l' equazione di cui si parla nel testo è

$$N\,V\,E\,e\,A = C\,P.$$

Misurando E, A, C, P, e assumendo per V il valore dato dalle esperienze speciali, che furono fatte dal Rutherford

Ma la velocità dei ioni in un campo elettrico di nota intensità e stata misurata e si conosce; per cui, onde giungere alla determinazione della carica dei ioni, non resta più che misurare il numero di essi nell'unità di volume.

A raggiungere questo intento vale la seconda parte dell'esperienza. Se con una conveniente espansione dell'aria si determina la produzione della nebbia, basterà contare in qualche modo le goccioline d'acqua che la formano, perchè lo scopo sia raggiunto. Infatti, ammesso che ognuno dei ioni sia nucleo di una di quelle goccioline, il numero di queste sarà eguale al numero di quelli. Orbene, per valutare il numero delle goccioline basta dividere la massa totale di esse per la massa di ciascuna. La massa totale si calcola in base alla misura della temperatura minima raggiunta dall'aria nell'atto dell'espansione e della temperatura dell'aria stessa

---

per determinare questa velocità (480 c. nel caso di ioni prodotti nell'aria dei raggi X), non rimangono incogniti che N ed e. Il numero N viene misurato nel modo descritto più avanti nel testo.

dopo la formazione della nebbia (*); la massa di ogni gocciolina si desume dal suo diametro, e questo dalla velocità con cui essa cade, ossia dalla velocità con cui si abbassa il limite superriore, sempre abbastanza nettamente visibile, della nube formatasi.

Ed è naturale che esista una relazione fra le dimensioni di una sfera e la velocità con cui essa cade. Infatti, tutti i corpi cadono bensì nel vuoto con eguale velocità, ma non così nell' aria, la cui resistenza rallenta più o meno il loro movimento. Nel caso di una sfera questo rallentamento è tanto più grande, quanto più essa è piccola; per la ragione che, mentre il peso è proporzionale al volume e quindi al cubo del diametro della sfera, la resistenza opposta dall' aria è proporzionale invece alla sua superficie, e quindi al quadrato del suo diametro. Perciò al

(*) Dicendo t, t' quelle due temperature, C il calor specifico dell' aria a volume costante, L il calore latente di evaporazione dell'acqua, M la massa dell'aria per unità di volume, e q la massa di vapore condensato in un centimetro cubo di aria, si ha

$$L\,q = C\,M\,(t' - t).$$

diminuire di questo il peso diminuisce assai più rapidamente della resistenza dell'aria. Questa è anzi la nota ragione per la quale i corpi ridotti a piccoli frammenti, come le polveri minute, e le piccole goccie, cadono lentamente al punto da sembrare spesso come immobili.

Per la determinazione del diametro delle goccioline d'acqua vale una formola (*), che lega fra loro il diametro stesso, la velocità di caduta, e la viscosità del mezzo in cui si muovono. Conosciuto quel diametro si calcola subito nel modo descritto il numero dei ioni, ed infine la carica di ciascuno.

Il risultato finale a cui pervenne Thomson in una serie di esperienze fatte sull'aria ionizzata dai raggi X fu, che la carica di ogni ione è (in unità elettrostatiche) $6,5 . 10^{-10}$ ossia 0,000 000 000 65. Da altre esperienze, eseguite ricorrendo all'azione

(*) Se V è la velocità di caduta di una gocciolina, r il suo raggio, μ il coefficiente di viscosità dell'aria e g l'accelerazione della gravità, si ha la formola

$$9 \mu V = 2 g r^2.$$

Per l'aria $\mu \equiv 0,00018$.

dei raggi ultravioletti sullo zinco, dedusse il valore assai poco differente $6{,}8.10^{-10}$.

Più tardi però lo stesso Thomson (102) riconobbe, che quei risultati dovevano essere corretti. Si è constatato che i ioni negativi richiedono, perchè il vapore si condensi intorno ad essi, un' espansione minore di quella minima necessaria per i ioni positivi, e che probabilmente nelle descritte esperienze pochi di questi ultimi entravano in azione. Si sa ora infatti, che aumentando bruscamente il volume dell' aria umida nel rapporto da 1 a 1,25, i ioni negativi e non quelli positivi funzionano come nuclei nella formazione delle goccioline d' acqua, ed è solo quando l' espansione avviene nel rapporto di 1 a 1,31, che anche i ioni positivi cominciano a prender parte al fenomeno.

Le nuove esperienze, nelle quali si tenne conto di ciò, condussero al risultato più preciso di $3{,}4.10^{-10}$ unità elettrostatiche, come carica di ogni singolo ione.

Poco dopo nuove ricerche sullo stesso argomento furono istituite dal Sig. H. A. Wilson (103)

con un metodo un poco differente, ma che ha il pregio di non rendere necessaria la valutazione del numero di ioni esistenti nell' aria attraversata dai raggi di Röntgen.

Anche in questo caso con una brusca espansione dell' aria si fa condensare il vapor d' acqua in goccioline, che hanno come nucleo un ione; ma la nebbia si produce fra due dischi metallici paralleli. Quando questi siano oppostamente elettrizzati, la velocità, con cui cadono le goccie è, a seconda della direzione della forza elettrica, diminuita ed aumentata rispetto a quella che posseggono, quando non esiste fra i dischi il campo elettrico. Misurando queste velocità di caduta, si ha quanto basta per calcolare la carica di ogni goccia (*).

(*) Dicendo v_1, v_2 le velocità di discesa delle goccioline rispettivamente quando non esiste il campo elettrico, e quando questo esiste ed accelera la caduta; dicendo X l' intensità del detto campo, e la carica di un ione, m la massa di una gocciolina, g l' accelerazione dovuta alla gravità, si ha evidentemente

$$m\, g\, v_2 = (m\, g + X\, e)\, v_1 ;$$

ma dalla

$$9\, \mu\, V = 2\, g\, r^2$$

Senza entrare in maggiori dettagli relativamente a queste esperienze ingegnose farò rilevare, che esse confermarono una circostanza notata già dal Thomson, e cioè che, se l'intensità dei raggi X adoperati per ionizzare l'aria è assai forte, più ioni invece di uno solo possono formare insieme il nucleo di una stessa goccia. In questo caso la carica della goccia risulta o doppia, o tripla, etc. di quella di una goccia, che abbia per nucleo un ione soltanto. E che ciò realmente possa accadere l'esperienza del Wilson dimostra, giacchè la nebbia appena formatasi si separa in più stati orizzontali, che discendono con velocità differenti. Evidentemente uno degli strati è formato da goccioline aventi per nucleo un semplice ione, un altro strato da quelle aventi un nucleo formato da due ioni, e così di seguito.

---

della nota precedente si ricava:

$$m = 3{,}14 .\ 10^{-9} .\ \nu_1^{3/2},$$

per cui eliminando m si ha:

$$e = 3{,}14 .\ 10^{-9} .\ \frac{g}{X} (\nu_2 - \nu_1) \sqrt{\nu_1},$$

che serve a calcolare e in base alle misure di X, ν_1, ν_2.

È chiaro che, tenuto conto di ciò, la misura delle velocità di discesa di uno qualunque di quei varî strati potrà essere utilizzata per il calcolo della quantità cercata.

Il risultato ottenuto dal Wilson è espresso del numero $3{,}1.10^{-10}$, assai poco differente da quello del Thomson. Questo valore coincide quasi con quello, che si trova calcolando la carica del ione idrogeno nell'elettrolisi, se come massa del medesimo si adotta il valore che fornisce la teoria dei gas.

Come si vede, le coincidenze numeriche, che la teoria fa prevedere, risultano verificate entro quei limiti di precisione, che in questo genere di ricerche si può oggi ragionevolmente esigere.

CAPITOLO VII.

Gli elettroni e la costituzione della materia.

La teoria degli elettroni, per la facilità colla quale si presta a darci un modello del meccanismo dei fenomeni fisici, ha una incontestabile utilità anche agli occhi di chi non vede in essa che uno strumento di ricerca. In realtà la teoria stessa è appena al suo inizio, e sarebbe prematuro considerarla fin d'ora come la base sicura di un nuovo sistema di filosofia naturale. Tuttavia, poichè anche sotto questo aspetto essa va acquistando importanza, sarà utile dedicare questo ultimo Capitolo ad una succinta esposizione dell'ipotesi, secondo la quale la materia vien considerata come costituita da elettroni.

In questo nuovo modo di concepire la costituzione dei corpi si assegna dunque agli elettroni

una parte di fondamentale importanza; ma affinchè per mezzo di essi sia possibile render conto dei fenomeni conosciuti, bisogna supporli dotati di certe proprietà essenziali. Così per esempio si ammettono elettroni di due specie, in certo modo fra loro antagoniste, cioè elettroni negativi ed elettroni positivi; si ritiene che i primi e non questi ultimi possano esistere liberi; si ammette che la separazione di un elettrone negativo avvenga più facilmente, ossia con minor dispendio di energia, da certi atomi, come quelli dei metalli, che da altri, etc. Tuttavia la proprietà fondamentale attribuita agli elettroni consiste nella loro essenza stessa di cariche elettriche, agenti fra loro nel modo espresso dalle formole di Hertz o di Maxwell; donde risulta che la nuova teoria non pretende affatto di dare ragione della causa prima dei fenomeni elettrici, la quale rimane sempre misteriosa. Anzi, mentre per l' addietro si prendeva come punto di partenza l' esistenza dell' etere cosmico, e quella della materia ponderabile caratterizzata dal suo principale attributo, l' inerzia, e si cercava di dare una spiegazione

meccanica di tutti i fenomeni, oggi, partendo dall' etere e dagli elettroni, si costruisce, per così dire, con essi la materia ponderabile, e si cerca di render conto dei fenomeni da essa presentati. Si può dire quindi che la teoria degli elettroni sia una teoria della materia più che una teoria della elettricità; anzi nel nuovo sistema l' elettricità è collocata al posto della materia, la cui essenza del resto non era molto meglio conosciuta, di quel che sia oggi l' essenza degli elettroni.

Per meglio comprendere la portata dell' ipotesi, e gli attributi fondamentali degli elettroni, è utile considerare sinteticamente i fenomeni dovuti ai corpi elettrizzati fissi o in moto. Si supponga adunque, seguendo un ragionamento del Lodge (104), di avere due corpi di differente natura, di metterli a contatto e poi allontanarli. Essi presentano tosto quel complesso di proprietà, che costituiscono i due opposti stati elettrici, ed in particolare essi si attraggono e creano intorno ad essi il campo elettrico. Se uno dei due corpi, per esempio quello che ha lo stato

elettrico positivo, viene allontanato indefinitamente, non resta a prendere in considerazione che il corpo negativo. Se lo supponiamo piccolissimo, il campo elettrico sarà rappresentato da linee di forza rettilinee giungenti sul corpo da tutte le direzioni. L'etere circostante è ora deformato, dando a questa parola il più ampio significato, cioè si trova in una condizione forzata, che si manifesta con tensioni lungo le linee di forza, causa delle apparenti forze a distanza, e con pressioni trasversali. Quale sia la causa di questo speciale stato dell'etere, come questo stato sia suscettibile di un doppio aspetto, e cioè possa corrispondere alla carica positiva e alla negativa, è ciò che assolutamente s'ignora, come tuttora s'ignora la stessa struttura e la stessa natura dell'ente che esiste ovunque e chiamasi etere.

Si supponga ora, che il piccolo corpo elettrizzato negativamente si muova di moto uniforme, e cioè si supponga che cambi di posto nell'etere lo stato speciale di deformazione testè definito. Dalla teoria del Maxwell come pure

dall' esperienza si desume, che questo propagarsi da luogo a luogo della deformazione eterea produce il campo magnetico. Questo può poi considerarsi a sua volta come dovuto ad una deformazione di diversa natura, ma analoga a quella elettrica, in quanto che anche nel campo magnetico esistono tensioni lungo le linee di forza e pressioni nelle direzioni trasversali. E se il moto è rettilineo, le linee di forza sono cerchi col centro sulla traiettoria e giacenti in piani a questa perpendicolari. Una serie di corpi elettrizzati, che si seguano con moto uniforme, ha la proprietà di una corrente elettrica. Perciò la corrente costante può considerarsi come un flusso di elettroni equidistanti in moto uniforme, ed una corrente variabile come un flusso di elettroni in moto vario, o che non si seguono ad intervalli uniformi.

Se appunto il piccolo corpo elettrizzato si muove di moto vario, il campo magnetico da esso creato è variabile, e prendono origine i fenomeni d' induzione, come pure i fenomeni luminosi, qualora il moto sia periodico. Ogni va-

riazione di velocità del corpo elettrizzato genera una variazione nel campo magnetico, questa produce una variazione del campo elettrico, e queste variazioni si comunicano da luogo a luogo colla velocità della luce.

Immaginiamo ora che si voglia aumentare ad un dato momento la velocità del corpo elettrizzato, supposto che fino a quell'istante si sia mosso con moto uniforme. In virtù delle relazioni esistenti fra la forza elettrica e la forza magnetica in un campo elettromagnetico, non è possibile accelerare il moto del corpo elettrizzato senza impiegare energia. Infatti ad un aumento di velocità consegue una variazione del campo magnetico, che alla sua volta fa nascere una forza elettrica tendente ad opporsi all'accelerarsi del movimento. Del pari una diminuzione di velocità è contrastata dal sorgere di una forza elettrica, che tende a far conservare al corpo elettrizzato la sua velocità. In ogni caso il fenomeno elettromagnetico è dunque tale da simulare l'inerzia, ed il corpo in moto, per il fatto di essere elettrizzato, si comporta come se la

sua massa fosse maggiore di quella che realmente possiede.

Quanto si è detto del piccolo corpo elettrizzato vale per un elettrone, e la massa di questo, che abbiamo già detto essere mille e più volte minore di quella d'un atomo di idrogeno, è almeno in parte apparente e non reale.

Questa specie di apparente inerzia, che mostra un corpo elettrizzato, oppure un elettrone, rappresenta quel medesimo fenomeno, che nel caso delle correnti elettriche dicesi autoinduzione. Infatti, se invece di un solo elettrone in moto se ne ha un gran numero, e tali elettroni si seguono a piccoli ed uguali intervalli lungo la stessa traiettoria, essi rappresentano una corrente elettrica. L'aumento o la diminuzione di velocità degli elettroni dà luogo ad un aumento o diminuzione nel numero di essi, che nell'unità di tempo passa per un punto dato della traiettoria, e quindi corrisponde ad aumento o diminuzione d'intensità della corrente. Ora, quanto si è detto intorno all'effetto di una variazione di velocità per un unico corpo elettrizzato in moto, o per

un solo elettrone, è sostanzialmente vero anche per elettroni in numero qualunque, cosicchè ogni variazione di velocità di essi fa sorgere una forza che tende ad impedirla. Dunque ogni variazione d'intensità della corrente fa sorgere una forza elettromotrice, che tende ad opporsi alla variazione stessa, ossia che produce una nuova corrente di tal direzione da attenuare quella variazione. Come si vede, questa corrente è l'estra-corrente, e quella forza elettromotrice è la forza elettromotrice di autoinduzione.

Riassumendo si potrà dire, che gli elettroni determinano la produzione dei fenomeni detti elettrostatici, quando siano immobili, dei fenomeni magnetostatici e delle correnti costanti, quando costituiscano un flusso uniforme, e dei fenomeni elettromagnetici o ottici, quando si muovano non uniformemente o con moto periodico.

Una brusca variazione di velocità di un elettrone, che può essere dovuta per esempio ad un urto, fa nascere un'onda elettromagnetica nell'etere, analoga alle onde aeree di esplosione. I raggi X, la cui velocità di propagazione è stata trovata uguale

a quella della luce (105), sono la manifestazione di queste onde.

Siamo ora in grado di comprendere in che consista la moderna ipotesi, secondo la quale la materia è costituita da elettroni. Prima di tutto si potrà ammettere, che gli elettroni non siano materia nel senso usuale della parola, cioè non posseggano altra massa, che quella che essi mostrano d'avere in causa del loro movimento e della loro carica. Le esperienze del Sig. Kaufmann, citate nel precedente capitolo, rendono assai probabile questa ipotesi. Egli trovò infatti, che il rapporto fra la carica degli elettroni in movimento e la loro massa cresce rapidamente, allorchè la loro velocità si avvicina assai a quella della luce. E siccome l'ipotesi che varî la carica sarebbe troppo inverosimile, non resta che supporre un rapido aumento della massa. Ora un tal risultato è d'accordo coll'ipotesi, secondo la quale la massa degli elettroni è interamente di origine elettromagnetica.

Poichè dunque gli elettroni, considerati come semplici cariche elettriche e privi di materia,

ossia considerati come costituiti da una modificazione dell'etere simmetricamente distribuita intorno ad un punto, simulano perfettamente, in virtù delle leggi del campo elettromagnetico, l'inerzia, mostrando così la proprietà fondamentale della materia, nulla vieta di supporre quest'ultima, e quindi tutti i corpi conosciuti, come aggregazioni o sistemi di elettroni.

Si può dunque ammettere, che un atomo materiale altro non sia che un sistema costituito da un certo numero di elettroni positivi e da un egual numero di elettroni negativi, questi ultimi, o almeno alcuni di essi, muoventisi intorno alla parte rimanente come satelliti. Le forze molecolari ed atomiche non sarebbero che manifestazioni delle forze elettromagnetiche degli elettroni, e la stessa gravitazione potrebbe spiegarsi in base a questi concetti, come del resto si è già tentato di fare.

Se si suppone tolto ad un atomo uno o più elettroni negativi, esso diventa un ione positivo, mentre l'unirsi di uno o più elettroni negativi ad un atomo neutro dà origine ad un ione negativo.

Il modo nel quale i varî corpi si comportano di fronte ai raggi catodici, cioè agli elettroni liberi in movimento, è tale da testimoniare in favore dell'ipotesi esposta. Si è infatti riconosciuto, che un corpo arresta gli elettroni, ossia assorbe i raggi catodici, in ragione della sua densità, cioè in ragione del numero complessivo di elettroni che lo costituiscono, indipendentemente dal modo nel quale essi sono raggruppati per formare atomi chimici di diverse specie.

Gli elettroni sarebbero dunque gli elementi costitutivi nell'architettura degli atomi. Quando una tale ipotesi venga adottata, resta bandito dalla scienza il dogma dell'invariabilità dell'atomo chimico, ossia della non trasformabilità delle sostanze chimiche le une nelle altre, giacchè tutte risultano allora costituite da elettroni. E già si è visto, come i fenomeni della radioattività sembrino mostrare trasformazioni di questo genere.

Se poi si ritiene, che tutti i corpi siano almeno in minimo grado radioattivi, e quindi emettano ioni ed elettroni, queste nuove vedute intorno alla struttura della materia divengono assai si-

mili a quelle, che più di mezzo secolo fà un fisico italiano di acuto e originale ingegno, Ambrogio Fusinieri (106), poneva a base di una spiegazione generale dei fenomeni fisici. Per quanto i concetti di quel fisico lasciassero adito fin d'allora ad obbiezioni, ed oggi abbiano perduto parte del loro valore alla luce dei fatti posteriormente scoperti, si pensa subito a ciò che egli chiamava *la materia attenuata* emessa dai corpi tutti, quando si parla oggi delle emanazioni emesse dai corpi radioattivi, o degli elettroni che, come per una specie di lenta ed invisibile evaporazione, abbandonano probabilmente e in modo continuo ogni sostanza materiale per diffondersi nello spazio circostante.

BIBLIOGRAFIA

(1) W. WEBER — Gesammelte Werke, t. IV, p. 279.

(2) A. RIGHI — Mem. della R. Acc. di Bologna, serie 5.ª t. VIII, p. 263 (1900).

(3) A. RIGHI — Rend. della R. Acc. di Bologna, 18 febbraio 1894.

(4) Chi desiderasse acquistare piú profonda conoscenza di quanto in questo capitolo non è che accennato, farebbe bene a consultare:

J. STARK — Die Elektrizität in Gasen. — A. Barth, Leipzig 1902.

O. LODGE — J. of the Inst. of Elec. Eng. 1903, t. 32.

J. J. THOMSON — Conduction of Electricity through Gases. — University Press. Cambridge, 1903.

(5) Da un discorso di Sir. W. CROOKES al congresso di Chimica tenuto in Berlino nel giugno 1903.

(6) J. J. THOMSON — Phil. Mag. t. 38, p. 358 (1894).

(7) Q. MAIORANA — Il N. Cimento, 4.ª serie, t. VI, p. 336 (1897).

(8) J. PERRIN — Comp. Rend. t. CXXI, p. 1130 (1895).

(9) P. LENARD — Wied. Ann. t. 64, p. 279 (1898).

(10) P. LENARD — Drude's Ann. t. 2, p. 359 (1900).

(11) J. J. Thomson and E. Rutherford — Phil. Mag. t. 42, p. 392 (1896).

(12) A. Righi — Mem. della R. Acc. di Bologna, 5.ª serie, t. VI, p. 252 (1896).

(13) A. Righi — Atti del R. Istit. Veneto, serie 6ª, t. VII (1889).

(14) A. Righi — Rend. della R. Acc. dei Lincei, 4 marzo 1888.

(15) P. Lenard — Drude 's Ann. t. I, p. 486 (1900).

(16) A. Righi — Il moto dei ioni etc. — Attualità scientifiche I, Zanichelli, Bologna 1903.

(17) Ch. Henry — Comp. Rend. t. CXXII p. 312 (1896).

(18) G. H. Niewenglowski — Comp. Rend. t. CXXII p. 385 (1896).

(19) H. Becquerel — Comp. Rend. t. CXXII p. 420 (1896).

(20) H. Becqerel — Comp. Rend. t. CXXII, p. 301 (1896).

(21) H. Bbcquerel — Comp. Rend. t. CXXII, p. 359 (1896).

(22) A. Righi — Rend. della R. Acc. di Bologna, 9 febbraio 1896. Il fenomeno stesso fu osservato simultaneamente da varî fisici.

(23) G. C. Schmidt — Wied. Ann., t. 65, p. 141 (1898).

(24) S. Curie — Comp. Rend. t. CXXVI, p. 1101 (1897).

(25) P. et S. Curie — Comp. Rend. t. CXXVII, p. 175 (1898).

(26) P. et S. Curie et G. Bémont — Comp. Rend. t. CXXVII, p. 1215 (1898).

(27) A. Debierne — Comp. Rend. t. CXXIX, p. 593 (1899).

(28) J. Elster und H. Geitel — Wied. Ann. t. 69, (1899).

(29) F. Giesel — Ber. deutsch. chem. Ges. t. 33, p 3569 (1901).

(30) K. Hofmann und E Strauss — Ber. deutsch. chem. Ges. t. 33, p. 3126 (1900); t. 34, p. 3035 (1901); t. 35, p. 1453 (1902).

(31) K. Hofmann und V. Wölf — Chem. Ber. t. 36, p. 1040 (1903).

(32) W. Marckwald — Phys. Zeitschr. t. IV, p. 51 (1902).

(33) F. Giesel — Chem. Ber. t. 36, p. 728 (1903).

(34) C. Baskerville — J. amer. chem. soc. t. 23, p. 761.

(35) R. Blondlot — Comp. Rend. t. CXXXVI, p. 735 (1903) e fascicoli successivi.

(36) Strutt — Phil. Trans. t. 196, p. 525 (1901).

(37) E. Rutherford — Phil. Mag. May 1903, p. 177.

(38) H. Becquerel — Comp. Rend. t. CXXXVI p. 431 (1903).

(39) H. Becquerel — Comp. Rend. t. CXXIX, p. 912 (1899).

(40) F. Giesel — Wied. Ann. t. 69, p. 834 (1899).

(41) S. Meyer und E. von Schweidler — Physik. Zeitschr. t. 1, p. 90, 113 (1899).

(42) E. Dorn — Comp. Rend. t. CXXX, p. 1126 (1900).

(43) P. et S. Curie — Comp. Rend. t. CXXX, p. 647 (1900).

(44) W. Crookes — Proc. Roy. Soc. t. LXXI, p. 405 (1903).

(45) H. Becquerel — Comp. Rend. 27 ottobre 1903, p. 629.

(46) W. Huggins and Lady Huggins — Proc. Roy. Soc. p. 196 (1903).

(47) H. Becquerel — Comp. Rend. 25 janvier 1904.

(48) W. Wien — Phys. Zeitschr. t. IV, p. 624 (1903).

(49) E. Dorn — Phys. Zeitschr. t. IV, p. 507 (1903).

(50) R. J. Strutt — Phil. Mag. Nov. 1903, p. 588.

(51) P. Curie — L' Electricien, 23 janvier 1904.

(52) A. Heydweiller — Phys. Zeitschr. t. IV, p. 81 (1902).

(53) E. Dorn — Phys. Zeitschr. t. IV, p. 530 (1902).

(54) P. Curie et A. Laborde — Comp. Rend. t. CXXXVI, p. 673 (1903).

(55) N. Georgiewski — Jour. de la Soc. Phys.-Chim. russe t. 35, p. 353 (1903).

(56) A. Righi — Mem. della R. Acc. di Bologna, serie 5.ª t. X, p. 595 (1903).

(57) H. Becquerel et P. Curie — Comp. Rend. t. CXXXII p. 1289 (1901).

(58) J. Danysz — Comp. Rend. t. CXXXVI. p 461 (1903).

(59) Aschkinass und Caspari — Arch. für die Ges. Physiol. t. 86 (1901).

(60) Danlos — Soc. de derm, 7 nov. 1901.

Hallopau et Gadaud — Soc. de derm., 3 juillet 1902.

(61) E. Bloch — Comp. Rend. t. 132, p. 914 (1901).

(62) R. B. Owens — Phil. Mag. t. 48, p. 361 (1899).

(63) E. Rutherford — Phil. Mag. t. 49, p. 1, 161 (1900).

(64) H. R. v. Traubenberg — Phys. Zeitschr. 1 März 1904, p. 130.

(65) E. Rutherford and F. Soddy — Phil. Mag. May 1903, p. 561.

(66) P et S. Curie — Comp. Rend. t. CXXIX (1899).

(67) Elster und Geitel — Phys. Zeitschr. III, p. 76 (1901).

(68) A. Sella — Il Nuovo Cimento, t. 3, p. 138; t. 4, p. 131 (1902).

(69) E. Rutherford and H. T. Barnes — Phil. Mag. February 1904, p. 202.

(70) O. Lodge — Nature, Avril 2, 1903.

(71) J. J. Thomson — Nature, febr. 26, 1903.

R. J. Strutt — Phil. Mag. June 1903, p. 680.

J. C. Mac Lennan and E. F. Burton — Phil. Mag. June 1903, p. 691.

(72) E. Rutherford — Nature, 1903, p. 511.

H. Lester Cooke — Phil. Mag. October 1903, p. 403.

(73) J. J. Thomson — Nature 1903, p. 90.

(74) J. Elster und H. Geitel. — Physik. Zeitschr. 1904, p. 11.

(75) H. S. Allen — Nature, August 13, 1903.

(76) Vedi al n. 72.

(77) J. Elster und H. Geitel — Beiblätter 1899, p. 443.

(78) E. Rutherford and F. Soddy — Phil. Mag. May 1903, p. 576.

(79) W. Crookes — Proc. Roy. Soc. 1900 t. 66, p. 419.

(80) H. Becquerel — Comp. Rend. t. CXXXVI, p. 137 (1900).

(81) E. Rutherford and F. Soddy — Phil. Mag. April 1903, p. 441.

W. Ramsay — Nature, August. 1903 p. 354.

W. Ramsay and F. Soddy — Phys. Zeitschr. Sept. 18, 1903, p. 651.

(82) Dewar et Curie — Comp. Rend. 25 janvier 1904, p. 190.

(83) W. Kaufmann — Wied. Ann. t. 61, p. 544, t. 62, p. 596, t. 65, p. 431 (1898).

(84) S. Simon — Wied. Ann. t. 69, p. 589 (1899).

(85) J. J. Thomson — Phil. Mag. t. 44, p. 293 (1897).

(86) J. J. Thomson — Phil. Mag. t. 44, p. 293 (1897).

(87) H. A. Wilson — Proc. Camb. Phil. Soc. 1901, p. 179.

(88) P. Lenard — Wied. Ann. t. 64, p. 279 (1898).

(89) P. Lenard — Wied. Ann. t. 65, p. 504 (1898).

(90) E. Wiechert — Wied. Ann. t. 69, p. 739 (1899).

(91) J. J. Thomson — Phil. Mag. t. 48, p. 547 (1899).

(92) A. Righi — Mem. della R. Acc. di Bologna, série 4.ª t. X, p. 110 (1890).

(93) J. J. Thomson — Phil. Mag. t. 48, p. 547 (1899).

(94) P. Lenard — Drude's Ann. t. 2, p. 359 (1900).

(95) H. Becquerel — Rapports du Congrès de Physique de Paris, t. III, p. 47.

(96) W. Kaufmann — Gött. Nach. November 8, 1901; Juli 26, 1902; Marz 7, 1903.

(97) W. Wien — Wied. Ann. t. 65, p. 440 (1898).

(98) J. J. THOMSON — Vedi al (4) p. 119.

(99) J. S. TOWNSEND — Phil. Trans. 1900, p. 259.

(100) J. J. THOMSON — Phil. Mag. December 1898, p. 528.

(101) C. T. R. WILSON — Phil. Trans. 1897, p. 265.

(102) J. J. THOMSON — Phil. Mag. March 1903, p. 346.

(103) H. A. WILSON — Phil. Mag. April 1903, p. 429.

(104) O. LODGE — Vedi al (4).

(105) R. BLONDLOT — Comp. Rend. t. CXXXV, p. 666 e 721 (1902).

(106) A. FUSINIERI — Memorie, Padova 1844, 1846, 1847.